



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS



MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

**VULNERABILIDAD Y RIESGO DE ACCIDENTE OFÍDICO Y DE
CONSERVACIÓN DE LAS SERPIENTES DE CASCABEL EN LA
PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

Jesús Mauricio Rodríguez Canseco

Ensenada, Baja California

Agosto de 2019



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS



MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

**VULNERABILIDAD Y RIESGO DE ACCIDENTE OFÍDICO Y DE CONSERVACIÓN DE LAS
SERPIENTES DE CASCABEL EN LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:


Jesús Mauricio Rodríguez Canseco

Aprobada por:


Dr. Guillermo Romero Figueroa


Dr. Gustavo Arnaud Franco


Dr. Mario A. García Aranda


M. C. Jorge H. Valdez Villavicencio

RESUMEN

México es considerado el centro de diversificación del género *Crotalus*, presentando dentro del territorio nacional, 41 de las 48 especies reconocidas (Uetz et al., 2019). Son depredadores tope de manera que ayudan a mantener en control las poblaciones de especies presa como roedores y lagomorfos y que sin ese control entre otras cosas tienden a convertirse en problemas de plaga. Por otro lado, han sido reconocidas como símbolos importantes en la cultura nacional, desde grupos originarios como los mayas, aztecas y kumiais hasta representaciones actuales como en la bandera de México. A pesar de su importancia ecológica y cultural, son animales que son vulnerables ante el encuentro con el ser humano, donde las interacciones pueden ser negativas tanto para el humano (accidente ofídico) como para las serpientes (aniquilación y disminución poblacional). En este sentido es importante conocer los sitios donde convergen la distribución de ambos y delimitar zonas donde existe mayor o menor vulnerabilidad ante cualquiera de los dos escenarios. Se realizó una búsqueda intensiva de los registros de accidentes ofídicos en los estados de Baja California y Baja California Sur por medio de la Secretaría de Salud tanto federal como Estatal. Se obtuvieron un total de 541 registros (273 para BC y 268 para BCS), donde Mulegé fue el municipio con menor número de casos (16) y la jurisdicción Mexicali el de mayor número de casos (90). La mayor cantidad de accidentes ofídicos se presentó en hombres, en una relación 2.24:1 y durante los meses de mayo a septiembre. Por medio del modelado de nicho ecológico y sistemas de información geográfica, se traslaparon zonas de idoneidad de sitio de las especies del género *Crotalus* presentes en la península con capas de servicios de salud, accidentes ofídicos registrados, polígonos de conservación, actividades antrópicas y grados de modificación del hábitat. Se pudieron delimitar dos zonas de riesgo de accidente ofídico, siendo el área de San Quintín la que presenta mayor riesgo, mientras que el resto de la península presenta un riesgo medio. La especie más vulnerable ante factores antrópicos es *Crotalus cerastes* ya que solo se encuentra presente en un ANP y su hábitat se encuentra muy modificado, por otro lado, la menos vulnerable es *Crotalus ruber* debido que se encuentra en cinco ANPs y la mayor parte de su hábitat esta levemente modificado. De igual manera se delimitaron tres zonas de riesgo para la conservación de las cascabeles. La zona de riesgo mayor es al norte, riesgo medio al sur y riesgo bajo al centro de la península. Este estudio puede servir para tomar decisiones tanto del sector salud para atender esta ETD como para la conservación de las cascabeles.

Palabras clave

vulnerabilidad, modelado de nicho ecológico, sistemas de información geográfica, accidente ofídico, conservación

DEDICATORIA

A mis padres:

Por siempre creer en mí y apoyarme a cumplir mis sueños.

A Krystal:

**Por ser mi incansable compañera en esta aventura tan loca,
sigamos riendo por siempre.**

A mis hermanos y sobrinos:

Por ser uno de los pilares que me ha permitido llegar hasta aquí.

Agradecimientos

Es muy difícil agradecer a cada una de las personas que han contribuido a mi formación como maestro en ciencias, a todos ellos un agradecimiento infinito. Me gustaría agradecer en especial:

- ☞ A la Universidad Autónoma de Baja California y a la Facultad de Ciencias por ser parte integral de mi formación.
- ☞ A CONACYT por su apoyo económico durante estos dos años.
- ☞ Al Dr. Guillermo Romero Figueroa por su acertada dirección, apoyo y entusiasmo en el desarrollo de este proyecto.
- ☞ Al Dr. Gustavo Arnaud Franco, al Dr. Mario García Aranda y al M. C. Jorge Valdez Villavicencio porque sus experiencias, comentarios y observaciones mejoraron este trabajo.
- ☞ A mis compañeros y amigos que de miles de formas hicieron que esta parte de mi vida fuera iluminada, divertida y llena de momentos inolvidables.

...GRACIAS TOTALES

Contenido

RESUMEN	1
Palabras clave	1
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	4
1. Diversidad de serpientes venenosas	4
2. Accidentes ofídicos (mordeduras de serpientes)	9
3. Conservación de serpientes de cascabel	14
4. Modelado de nicho ecológico	26
5. Riesgo y Vulnerabilidad	30
JUSTIFICACIÓN	31
OBJETIVOS	33
Objetivo general	33
Objetivos específicos	33
METODOLOGÍA	34
Descripción del área de estudio	34
Panorama epidemiológico	42
Modelaje de nicho	43
Accidentes ofídicos	44
RESULTADOS	47
Panorama epidemiológico	47
Modelos de nicho ecológico	54
Delimitación de zonas de riesgo a accidente ofídico	61
Vulnerabilidad y zonas de riesgo para la conservación	66
DISCUSIÓN	80
Panorama epidemiológico	80
Modelo de nicho ecológico	82
Riesgo de accidente ofídico	88
Vulnerabilidad y riesgo para la conservación	90
CONCLUSIONES	92
LITERATURA CITADA	93
ANEXOS	107

Índice de Tablas

Tabla 1. Especies de <i>Crotalus</i> en la península de Baja California (Uetz et al., 2019)	7
Tabla 2. ADVCS, ANPs, UMAs y RTPs presentes en la península de Baja California.....	17
Tabla 3. Categorías de protección y endemismos de las cascabeles de la península de Baja California (SEMARNAT, 2010; UICN, 2019)	21
Tabla 4. Población y extensión territorial por municipios (INEGI, 2017)	34
Tabla 5. Climas de la península de Baja California (García, 1998; INEGI, 2017a, b).....	37
Tabla 6. Ecorregiones y plantas típicas de la península de Baja California (Garcillán et al., 2012) ..	40
Tabla 7. Ponderaciones de vulnerabilidad ante accidente ofídico y el rango establecido	44
Tabla 8. Ponderación de los valores de vulnerabilidad para la conservación de las serpientes de cascabel.....	45
Tabla 9. Ponderación de valores para determinar zonas de riesgo para la conservación y rango establecido.	46
Tabla 10. Total de accidentes ofídicos y tasa anual en BC, BCS y México.....	47
Tabla 11. Casos y tasa de accidentes ofídicos por jurisdicción en Baja California.....	50
Tabla 12. Casos y tasa de incidencia anual de accidentes ofídicos en Baja California.....	50
Tabla 13. Casos y tasa de accidentes ofídicos por municipio en Baja California Sur	51
Tabla 14. Casos y tasas de accidentes ofídicos anuales por municipio en Baja California Sur	52
Tabla 15. Registros, variables y validaciones de los modelos de <i>Crotalus</i> de la península.....	54
Tabla 16. Valores asignados a cada zona de acuerdo a las capas traslapadas y rango establecido. 61	
Tabla 17. Valores asignados por capa a cada especie presente en la península.	66
Tabla 18. Valores asignados a cada zona de convergencia de especies, por presencia de factores antrópicos.....	66

Índice de Figuras

Figura 1. A- <i>Oxybelis aeneus</i> . B- <i>Leptophis diplotropis</i> . C- <i>Leptodeira maculata</i> . D- <i>Trimorphodon</i> tau. Fotos JMRC.....	5
Figura 2. A- <i>Micrurus distans</i> . B- <i>Micrurus laticollaris</i> . Fotos: JMRC.....	6
Figura 3. A- <i>Agkistrodon bilineatus</i> . B- <i>Botriechis schlegelii</i> . Fotos: JMRC.	6
Figura 4. A- <i>Crotalus basiliscus</i> . B- <i>Crotalus lepidus</i> . Fotos: JMRC.....	7
Figura 5. A- <i>Crotalus lorenzoensis</i> . B- <i>Crotalus mitchellii</i> . C- <i>Crotalus oreganus</i> . D- <i>Crotalus enyo</i> . Fotos: JMRC.....	8
Figura 6. Número de casos de accidentes ofídicos en México	10
Figura 7. Acciones propuestas para combatir los accidentes ofídicos como ETD.	12
Figura 8. Distribución del algunas serpientes venenosas en el mundo.	13
Figura 9. Amenazas a las serpientes de cascabel. Elaboración propia.	15
Figura 10. Polígonos de conservación y manejo en la península de Baja California (CONABIO, 2004; SEMARNAT, 2013; GeoComunes, 2015; SEMARNAT, CONANP, 2017).....	20
Figura 11. Grado de modificación del paisaje en la península de Baja California (Soto Esperanza et al., 2001).....	23
Figura 12. Modificación del hábitat por zonas agrícolas y caminos (INEGI, 2014a, 2016a, b, c).	24

Figura 13. Zonas con turismo que impacta el hábitat y concesiones mineras en la península de Baja California (no todas se encuentran activas) (GeoComunes. 2015b; elaboración propia a partir de información de Secretaría de Turismo).....	25
Figura 14. Tipos de nicho ecológico.	26
Figura 15. Diagrama BAM (Soberón y Nakamura, 2009)	27
Figura 16. Datos de entrada para los MNE (Elaboración basada en: Hirzel y Lay, 2008).	28
Figura 17. División política y ubicación de la península de Baja California (INEGI, 2010).	35
Figura 18. Edafología e hidrología de la península de Baja California (INEGI, 2014b, CONAGUA, 2007).	36
Figura 19. Elevación y climas de la península de Baja California (Guevara y Arroyo-Cruz, 2016; García y CONABIO, 1998).	38
Figura 20. Provincias fisiográficas y regiones biogeográficas de la península de Baja California (Cervantes-Zamora et al., 1990; CONABIO, 1997).	39
Figura 21. Regiones herpetofaunísticas y ecorregiones fitogeográficas de la península de Baja California (Casas y Reyna, 1990; González-Abraham et al., 2010).....	41
Figura 22. Procedimiento del modelado de nicho ecológico.....	43
Figura 23. Traslape de capas vectoriales con MNE y ponderación de riesgo.	46
Figura 24. Tasa anual de accidentes ofídicos en BC, BCS y México.	48
Figura 25. Promedio semanal de accidentes ofídicos.....	48
Figura 26. Relación de accidentes ofídicos por sexos.	49
Figura 27. Promedios anuales de accidentes ofídicos por sexos.	49
Figura 28. Comparación de registros de accidentes ofídicos estatales y federales.....	51
Figura 29. Comparativo de registros anuales estatales y federales.....	52
Figura 30. Casos y tasas suavizadas de accidentes ofídicos en la península de Baja California.	53
Figura 31. Izquierda- Idoneidad de sitio de <i>Crotalus atrox</i> . El color rojo representa la zona donde las condiciones son mejores para la especie. Derecha- Idoneidad media-muy alta vectorizada.....	55
Figura 32. Izquierda- Idoneidad de sitio de <i>Crotalus cerastes</i> . El color rojo representa la zona donde las condiciones son mejores para la especie. Derecha- Idoneidad media-muy alta vectorizada.	56
Figura 33. Izquierda- Idoneidad de sitio de <i>Crotalus enyo</i> . El color rojo representa la zona donde las condiciones son mejores para la especie. Derecha- Idoneidad media-muy alta vectorizada.	57
Figura 34. Izquierda- Idoneidad de sitio de <i>Crotalus mitchellii</i> . El color rojo representa la zona donde las condiciones son mejores para la especie. Derecha- Idoneidad media-muy alta vectorizada.	58
Figura 35. Izquierda- Idoneidad de sitio de <i>Crotalus oreganus</i> . El color rojo representa la zona donde las condiciones son mejores para la especie. Derecha- Idoneidad media-muy alta vectorizada.	59
Figura 36. Izquierda- Idoneidad de sitio de <i>Crotalus ruber</i> . El color rojo representa la zona donde las condiciones son mejores para la especie. Derecha- Idoneidad media-muy alta vectorizada.....	60
Figura 37. Izquierda- Traslape de modelos vectorizados. Derecha- Delimitación de zonas donde convergen al menos dos especies.	62
Figura 38. Izquierda- Traslape de capas sobre factores antrópicos que generan vulnerabilidad. Derecha- Delimitación de zonas de riesgo por factores antrópicos.	63

Figura 39. Comparación de zonas de vulnerabilidad definidas en este estudio (derecha) con los accidentes ofídicos en cada jurisdicción.	64
Figura 40. Izquierda- Traslape de capa de centros de salud y estimación de los tiempos de recorrido, tomando como la zona más lejana el centro de la península, con el tiempo máximo de recorrido, que va disminuyendo conforme se acerca hacia el norte o hacia el sur . Derecha- Mapa final de vulnerabilidad ante accidentes ofídicos en la península.....	65
Figura 41. Izquierda- Factores antrópicos que afectan a <i>Crotalus atrox</i> . Derecha- Grado de antropización en la idoneidad de sitio de <i>Crotalus atrox</i>	67
Figura 42. Izquierda- Modelo de <i>Crotalus atrox</i> en polígonos de conservación. Derecha- Vegetación en modelo <i>Crotalus atrox</i>	68
Figura 43. Izquierda- Factores antrópicos que afectan a <i>Crotalus cerastes</i> . Derecha- Grado de antropización en la idoneidad de sitio de <i>Crotalus cerastes</i>	69
Figura 44. Izquierda- Modelo de <i>Crotalus cerastes</i> en polígonos de conservación. Derecha- Vegetación en modelo <i>Crotalus cerastes</i>	70
Figura 45. Izquierda- Factores antrópicos que afectan a <i>Crotalus enyo</i> . Derecha- Grado de antropización en la idoneidad de sitio de <i>Crotalus enyo</i>	71
Figura 46. Izquierda- Modelo de <i>Crotalus enyo</i> en polígonos de conservación. Derecha- Vegetación en modelo <i>Crotalus enyo</i>	72
Figura 47. Izquierda- Factores antrópicos que afectan a <i>Crotalus mitchellii</i> . Derecha- Grado de antropización en la idoneidad de sitio de <i>Crotalus mitchellii</i>	73
Figura 48. Izquierda- Modelo de <i>Crotalus mitchellii</i> en polígonos de conservación. Derecha- Vegetación en modelo <i>Crotalus mitchellii</i>	74
Figura 49. Izquierda- Factores antrópicos que afectan a <i>Crotalus oreganus</i> . Derecha- Grado de antropización en la idoneidad de sitio de <i>Crotalus oreganus</i>	75
Figura 50. Izquierda- Modelo de <i>Crotalus oreganus</i> en polígonos de conservación. Derecha- Vegetación en modelo <i>Crotalus oreganus</i>	76
Figura 51. Izquierda- Factores antrópicos que afectan a <i>Crotalus ruber</i> . Derecha- Grado de antropización en la idoneidad de sitio de <i>Crotalus ruber</i>	77
Figura 52. Izquierda- Modelo de <i>Crotalus ruber</i> en polígonos de conservación. Derecha- Vegetación en modelo <i>Crotalus ruber</i>	78
Figura 53. Izquierda- Traslape de factores antrópicos sobre zonas delimitadas por número de especies. Derecha- Delimitación de zonas vulnerables para la conservación.	79
Figura 54. A) Izquierda-Modelo de idoneidad de sitio para <i>Crotalus atrox</i> . Derecha-Idoneidad vectorizada. B) Izquierda- Distribución de acuerdo la IUCN (NatureServe e IUCN, 2007a). Derecha- Distribución de acuerdo a CONABIO (Correa-Cano et al., 2006a). C) Modelo por SEMARNAT (2018). D) Distribución de acuerdo a Grismer (2002)	82
Figura 55. A) Izquierda-Modelo de idoneidad de sitio para <i>Crotalus cerastes</i> . Derecha-Idoneidad vectorizada. B) Izquierda- Distribución de acuerdo la IUCN (NatureServe e IUCN, 2007b). Derecha- Distribución de acuerdo a CONABIO (Correa-Cano et al., 2006b). C) Modelo por SEMARNAT (2018). D) Distribución de acuerdo a Grismer (2002)	83
Figura 56. A) Izquierda-Modelo de idoneidad de sitio para <i>Crotalus enyo</i> . Derecha-Idoneidad vectorizada. B) Izquierda- Distribución de acuerdo la IUCN (NatureServe e IUCN, 2007c). Derecha- Distribución de acuerdo a CONABIO (Correa-Cano et al., 2006c). C) Modelo por SEMARNAT (2018). D) Distribución de acuerdo a Grismer (2002)	84

Figura 57. A) Izquierda-Modelo de idoneidad de sitio para <i>Crotalus mitchellii</i> . Derecha-Idoneidad vectorizada. B) Izquierda- Distribución de acuerdo la IUCN (NatureServe e IUCN, 2007d). Derecha- Distribución de acuerdo a CONABIO (Correa-Cano et al., 2006d). C) Modelo por SEMARNAT (2018). En este estudio toman <i>Crotalus mitchellii</i> y <i>Crotalus pyrrhus</i> como especies diferentes. D) Distribución de acuerdo a Grismer (2002)	85
Figura 58. A) Izquierda-Modelo de idoneidad de sitio para <i>Crotalus oreganus</i> . Derecha-Idoneidad vectorizada. B) Izquierda- Distribución de acuerdo la IUCN (NatureServe e IUCN, 2007e). Derecha- Distribución de acuerdo a CONABIO (Correa-Cano et al., 2006e). C) Modelo por SEMARNAT (2018). D) Distribución de acuerdo a Grismer (2002)	86
Figura 59. A) Izquierda-Modelo de idoneidad de sitio para <i>Crotalus ruber</i> . Derecha-Idoneidad vectorizada. B) Izquierda- Distribución de acuerdo la IUCN (NatureServe e IUCN, 2007f). Derecha- Distribución de acuerdo a CONABIO (Correa-Cano et al., 2006f). C) Modelo por SEMARNAT (2018). D) Distribución de acuerdo a Grismer (2002)	87

INTRODUCCIÓN

La vulnerabilidad se puede ver como el punto donde confluyen un peligro y la incapacidad del ser humano a “adaptarse” a ese peligro (Wilches-Chaux, 1993). En este sentido podríamos definir el “peligro” como la presencia de las serpientes venenosas y su posible mordedura, mientras que la exposición de los humanos al invadir los territorios de las especies ya sea modificando el paisaje o solo visitándolo, podría considerarse como esa incapacidad de adaptación. Sin embargo, también existe otra vulnerabilidad, hacia la conservación de las serpientes. En este caso el “peligro” se definiría como la presencia extensiva del humano en el territorio y la incapacidad innata de los organismos de moverse o adaptarse a esos cambios rápidos del paisaje. Esta vulnerabilidad podría verse disminuida conociendo la distribución de los sitios idóneos para la presencia de las serpientes venenosas y relacionándola con variables antrópicas como actividades económicas e infraestructura.

Las mordeduras de serpientes venenosas o accidentes ofídicos, son un problema de salud pública en todas aquellas áreas donde confluyen la presencia de humanos y de especies venenosas, principalmente en zonas tropicales. La Organización Mundial de la Salud declaró, el nueve de junio del 2017, a estos accidentes como una Enfermedad Tropical Desatendida (ETD; UCR, 2017), la cual ocasiona entre 1.8 y 2.7 millones de envenenamientos, entre 80 y 140 mil muertes y casi el triple de amputaciones (OMS, 2018). Las zonas más afectadas son Asia, África y Latinoamérica con más de la mitad de los casos de mordeduras a nivel mundial, que además es donde se encuentra la mayor diversidad de serpientes venenosas (OMS, 2018). Estas especies se encuentran entre las más letales como las mambas, cobras, gabónicas, víbora de Russel, nauyacac, cascabeles y coralillos.

El gobierno mexicano a través de la Secretaría de Salud y de su Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica, estima que en 2018 hubo en total un poco más de 3,700 casos de mordeduras de serpientes venenosas (SS, 2018). Esta es solo una aproximación ya que hay diversos factores que afectan la veracidad del dato, entre los que destacan: 1) no todos los mordidos por serpientes venenosas acuden a un centro de salud a recibir tratamiento y 2) la falta de capacitación del personal médico para registro y tratamiento de accidentes ofídicos. Además de tratarse de una enfermedad desatendida y un problema de salud pública también ocasionan problemas económicos ya que los faboterápicos (anti venenos) son caros y las secuelas de la mordida pueden incluir pérdida de miembros o movilidad, lo que significa menor productividad laboral (Kasturiratne, et al., 2017). En la península de Baja California se reportaron 51 casos de mordeduras en el 2018, 25 casos en Baja California

y 26 en Baja California Sur (SS, 2018) aunque, como se dijo anteriormente, es probable que esa cifra esté subestimada.

Dado que México es considerado un país megadiverso, los estudios sobre biología y ecología de herpetofauna son abundantes, sin embargo, su distribución espacial no se termina de comprender por completo. Aunado a esto, el cambio climático y la constante modificación del hábitat por agricultura, urbanización, infraestructura y ganadería provoca que las especies estén cambiando sus rangos de distribución. En México existen alrededor de 80 especies de serpientes venenosas (cascabeles, nauyacac, coralillos, cantiles, etc.) y se encuentran distribuidas en todo el territorio (Flores-Villela y García-Vázquez, 2014; Ávila-Villegas, 2017). La serpiente que ocasiona más mordidas y muertes a nivel nacional es la *Bothrops asper* o nauyaca (Yáñez-Arenas et al., 2016) la cual se distribuye en la vertiente del golfo de México desde el sur de Tamaulipas hasta Chiapas y Centroamérica (UICN, 2019).

A diferencia del resto del país, en la península de Baja California solamente se encuentra un género de serpiente venenosa, *Crotalus* o víbora de cascabel con 12 especies, de las cuales nueve se encuentran restringidas a islas (Grismer, 2002; Meik et al., 2018; Uetz et al., 2019), aunque la identidad taxonómica de algunas especies no está completamente clara (Ávila-Villegas, 2017). A pesar de tener pocas especies en territorio peninsular, se desconocen algunos datos sobre ellas: hábitos, dieta, composición de su veneno, distribución etc., principalmente de las especies isleñas.

El ofidismo está relacionado directamente con la conservación de las especies de serpientes de cascabel ya que involucra las mismas variables: humanos, serpientes y zonas de convergencia. Una de las amenazas a las serpientes de cascabel es el encuentro directo con humanos. Es muy frecuente que la gente tenga una manera negativa de reaccionar ante el encuentro de una serpiente, de cascabel o culebra y generalmente termina con el animal muerto, aun cuando el animal no haya atacado e inclusive haya intentado huir. Aunque también puede resultar en un accidente ofídico. Otra amenaza para la conservación es la infraestructura humana desde caminos y carreteras hasta urbanización, así como las actividades económicas como agricultura y turismo. Sin embargo, existen instrumentos legales que ayudan a la conservación como Áreas Naturales Protegidas (ANPs), Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMAs), Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVCS) y Regiones Terrestres Prioritarias (RTPs). En este sentido es importante conocer la distribución de los sitios idóneos para la presencia de las especies y delimitar las zonas donde convergen serpientes y humanos.

Para conocer la distribución real y potencial de una especie, una herramienta que se ha utilizado es el modelaje de nicho ecológico (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011; Guisan et al.,

2013; Soberón et al., 2017). Esta herramienta nos permite conocer los requerimientos básicos de hábitat (variables bioclimáticas, bióticas y topográficas) que tiene una especie y nos muestra los sitios con dichas características donde se puede distribuir la especie trabajada. Esta herramienta se ha utilizado para muchas especies, desde vectores de enfermedades como las chinches del Chagas (Terán-Bracamonte, 2018) hasta mamíferos grandes como el borrego cimarrón y otros ungulados (Yáñez-Arenas et al., 2012a; Ruiz-Mondragón et al., 2018). También se ha utilizado para predecir las zonas de riesgo de accidente ofídico (Hansson et al., 2013; Yáñez-Arenas, 2014; Yáñez-Arenas et al., 2014; Yáñez-Arenas et al., 2015; Longbottom et al., 2018).

El objetivo de este trabajo es, por medio de modelaje de nicho ecológico y sistemas de información geográfica, aportar información sobre zonas donde la población humana es vulnerable a accidentes ofídicos. Se pretende detectar zonas donde las serpientes de cascabel tienen una alta idoneidad de sitio y donde se traslapan con actividades antrópicas (agricultura, zonas urbanas, turismo). De esta manera se espera lograr que se tomen las precauciones adecuadas, como sensibilización de la sociedad, distribución de faboterápicos y capacitación del personal médico. Aunado a esto, por medio de la delimitación de las zonas de convergencia de idoneidad de sitio con polígonos de conservación, se podrá determinar el grado de conservación de las especies de serpientes de cascabel, así como algunas de las amenazas a un nivel más local.

ANTECEDENTES

1. Diversidad de serpientes venenosas

En el mundo se han descrito más de 600 especies de serpientes venenosas (O'Shea, 2005) y su mayor diversidad se encuentra en las zonas tropicales, aunque también hay serpientes venenosas en climas templados. Una de las familias de serpientes venenosas son los **Atractáspidos** o víboras topo que se encuentran en África y Medio Oriente y tienen la particularidad de morder de lado y con un solo colmillo (Terrat et al., 2013). Los **Hidrófidos**, son las serpientes marinas y son las serpientes con el veneno más potente del mundo, sin embargo, su biología y anatomía hace muy poco probable que haya algún encuentro negativo (O'Shea, 2005).

Los **Elápidos**, con representantes como las cobras, mambas, coralillos, sumadoras de muerte, taipanes etc., las serpientes terrestres más venenosas del mundo se encuentran en este grupo. Su veneno es neurotóxico, lo que lo vuelve más peligroso ya que paraliza a sus presas. Son animales proteroglifos, lo que significa que sus colmillos son pequeños, fijos y en la parte anterior de la mandíbula. Su aparato inoculador no es tan especializado como el de los vipéridos aunque hay especies que pueden escupir veneno (Vitt y Caldwell, 2009; Makessy, 2010). En este grupo se encuentra la serpiente venenosa más larga del mundo, la cobra rey (*Ophiophagus hannah*).

Los **Colúbridos**, que en general no tienen glándulas de veneno, pero hay algunos géneros que sí las presentan y otros pocos que son de importancia médica, entre ellos se encuentran la boomslang (*Dispholidus typus*) y la culebra manglera (*Boiga dendrophila*). En general los colúbridos no tienen colmillos (aglifas) pero algunas, son opistoglifas, lo que significa que tienen un par de colmillos diferenciados, pero en la parte posterior de la mandíbula (Vitt y Caldwell, 2009). Su veneno está diseñado para presas pequeñas, aunque puede ocasionar daños graves a los humanos (Makessy, 2010).

Los **Vipéridos** con representantes como las serpientes de cascabel, nauyacac, víboras, gabónicas etc., se encuentran distribuidas en prácticamente todo el mundo a excepción de Oceanía y la Antártida. Su veneno es proteolítico y citotóxico, necrosa el tejido y provoca hemorragias (Makessy, 2010). Su aparato inoculador de veneno es el más especializado entre las serpientes, cuenta con dos colmillos grandes, móviles, en forma de aguja hipodérmica y curvos en la parte frontal de la mandíbula, conectados a dos glándulas de veneno grandes situadas atrás de los ojos, además que pueden abrir la mandíbula hasta en un ángulo de 180° (Vitt y Caldwell, 2009).

En América se conocen 190 especies de serpientes venenosas, de las cuales 73 son elápidos y 117 vipéridos (Campbell y Lamar, 2004a). En México no hay representantes de la familia Atractaspidae y la familia Hydrophidae solo cuenta con un especie presente (*Hydrophis platurus*). La familia Colubridae tiene muchos géneros representantes en México (*Leptophis*, *Oxybelis*, *Conopsis*, *Tantilla*, *Trimorphodon*, etc.), sin embargo, muy pocos pueden llegar a ocasionar problemas de salud en caso de mordedura, como inflamación y dolor (*Coniophanes*, *Conopsis*, *Leptodeira*, *Pseudoleptodeira*, etc.; Campbell y Lamar, 2004a).



Figura 1. A- *Oxybelis aeneus*. B- *Leptophis diplotropis*. C- *Leptodeira maculata*. D- *Trimorphodon tau*. Fotos JMRC.

En cuanto a la familia Elapidae hay 18 especies presentes repartidas en dos géneros, *Micrurus* y *Micruroides*. Se les puede encontrar desde ambientes desérticos hasta tropicales y de elevaciones bajas a medianas. Son animales difíciles de observar por sus hábitos casi fosoriales, además no son tan abundantes. Su coloración típica de advertencia con rojo amarillo y negro no aplica para todo el territorio nacional ya que hay especies con patrones de coloración muy variables. Su dieta se basa en gran parte de otras serpientes, aunque también consumen lagartijas y pequeños roedores (Campbell y Lamar, 2004a).



Figura 2. A- *Micrurus distans*. B- *Micrurus laticollaris*. Fotos: JMRC.

La familia de serpientes venenosas con mayor número de representantes de importancia médica en México es la familia Viperidae. Hay más de 60 especies repartidas en diez géneros (*Crotalus*, *Sistrurus*, *Bothrops*, *Botriechis*, *Cerrophidion*, *Agkistrodon*, *Porthidium*, *Ophryacus*, *Mixcoatlus* y *Atropoides*). Nuestro país es considerado centro de diversificación de esta familia y en específico del género *Crotalus*. Esta familia cuenta con representantes en todo el territorio nacional, desde zonas costeras hasta zonas de alta montaña (Campbell y Lamar, 2004a; Ávila-Villegas, 2017). En esta familia se encuentran algunas de las especies más reconocidas en el país como nauyacas (*Bothrops asper*), cantiles (*Agkistrodon bilineatus*), manos de metate (*Atropoides nummifer*), rabo hueso (*Agkistrodon taylori*), cascabeles (*Crotalus basiliscus*), hocico de puerco (*Porthidium hespere*), toritos (*Ophryacus undulatus*), etc. por lo que son de los animales más perseguidos por creencias mal fundamentadas y usos tradicionales (Ávila-Villegas, 2017).



Figura 3. A- *Agkistrodon bilineatus*. B- *Botriechis schlegelii*. Fotos: JMRC.



Figura 4. A- *Crotalus basiliscus*. B- *Crotalus lepidus*. Fotos: JMRC.

En la península de Baja California solamente se encuentra un género de serpiente venenosa, *Crotalus*, o serpientes de cascabel. En la zona costera pueden llegar a observarse ejemplares de serpiente marina (*Hydrophis platurus*), sin embargo, es muy raro. Se tienen registros de 12 especies de serpientes de cascabel, tanto en territorio peninsular como insular (Grismer, 2002; Meik et al., 2018). La identidad específica de algunos de los taxones aún se encuentra en debate e incluso hay quienes argumentan que las especies insulares solamente son subespecies o poblaciones aisladas de las especies peninsulares. En ese sentido se pueden identificar algunos complejos de especies como se muestra en el Tabla 1.

Tabla 1. Especies de *Crotalus* en la península de Baja California (Uetz et al., 2019)

Complejo	Especie	Distribución
Ruber	<i>Crotalus lorenzoensis</i>	Isla San Lorenzo
	<i>C. ruber</i>	Baja California
	<i>C. catalinensis</i>	Isla Santa Catalina
Oreganus	<i>C. oreganus</i>	Baja California y norte de Baja California Sur
Mitchellii	<i>C. mitchellii</i>	Baja California Sur
	<i>C. pyrrhus</i>	Baja California
	<i>C. angelensis</i>	Isla Ángel de la Guarda
	<i>C. polisi</i>	Isla Piojo
	<i>C. thalassoporus</i>	Isla Cabeza de Caballo
Atrox	<i>C. atrox</i>	Noreste Baja California
Cerastes	<i>C. cerastes</i>	Noreste Baja California
Enyo	<i>C. enyo</i>	Baja California Sur y Baja California

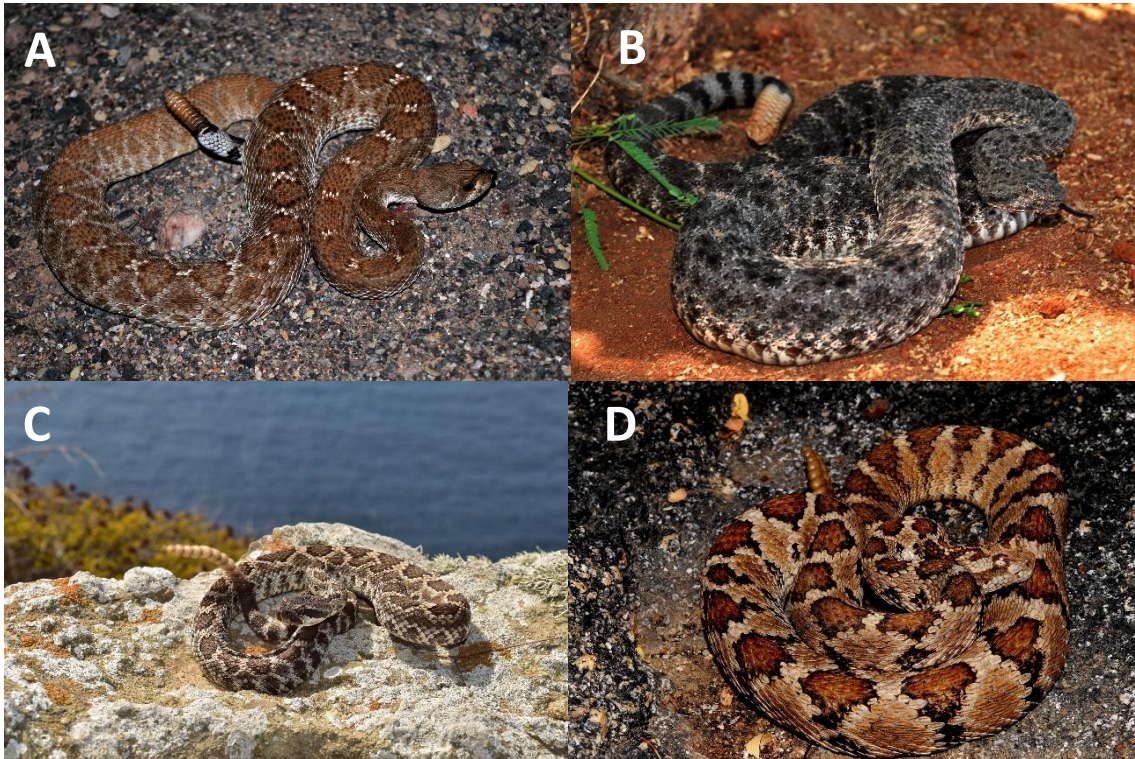


Figura 5. A- *Crotalus lorenzoensis*. B- *Crotalus mitchellii*. C- *Crotalus oreganus*. D- *Crotalus enyo*. Fotos: JMRC.

Se requieren estudios más específicos para lograr una clasificación definitiva de los vipéridos bajacalifornianos, aunque en general y de manera ecológica comparten muchas características gracias a que la península es muy homogénea en comparación con el centro y sur del país.

2. Accidentes ofídicos (mordeduras de serpientes)

El 9 de junio del 2017 la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró Enfermedad Tropical Desatendida (ETD) a las mordeduras de serpiente venenosa (UCR, 2017). Esto debido a que representan un problema grave de salud pública a nivel mundial. Anualmente hay alrededor de 5.4 millones de mordeduras de serpiente en el mundo, que causan entre 1.8 y 2.7 millones de casos de envenenamiento y a su vez entre 80 y 140 mil muertes, además de miles de amputaciones y otras discapacidades (OMS, 2018). Las zonas que se ven más afectadas por este problema son África, Asia y Latinoamérica mientras que los niños, mujeres y trabajadores rurales son los más vulnerables, principalmente en aquellos países con ingresos bajos a medianos y sistemas de salud débiles (Chippaux, 2008; OMS, 2018).

Se han hecho estudios donde reafirman que, en general, los accidentes ofídicos se relacionan directamente con la pobreza, tomando como variables el Índice de Desarrollo Humano, el gasto gubernamental per cápita en salud, porcentajes de fuerza laboral agrícola e ingreso bruto per cápita (Harrison et al., 2009; Chaves et al., 2015). También se ha demostrado que los fenómenos meteorológicos como “El Niño” y el calentamiento global influyen en este problema de salud, al modificar los patrones de actividad y distribución de los organismos. Al modificarse los patrones de lluvia se modifica la actividad anual de las serpientes y de igual manera al cambiar las temperaturas (más calor en zonas frías) las serpientes migran hacia lugares donde no se distribuían por esa barrera climática, convirtiendo al ofidismo en un problema dinámico (Nori et al., 2013; Chaves et al., 2015).

Kasturiratne et al. (2008) calculan que anualmente hay entre 42 mil y 63 mil envenenamientos por mordedura de serpiente venenosa en Latinoamérica central (incluye México, Guatemala, Belice, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá) y entre 193 y 1,461 muertes en el 2007 en la misma región. También mencionan a México como un país con literatura gris sobre accidentes ofídicos y pocos artículos publicados. Fernández y Gutiérrez (2008) estudiaron la mortalidad por accidente ofídico en Costa Rica desde el año 1993 hasta el 2006, donde concluyeron que las provincias con mayor mortalidad fueron aquellas donde se distribuye la serpiente *Bothrops asper* (nauyaca), y que los hombres fueron los más afectados. Gutiérrez (2014) calcula que en Centro América hay 5,500 casos de mordeduras de serpiente venenosa anualmente, siendo Panamá el más afectado y El Salvador con menos casos reportados. Menciona que a pesar de haber mejoras en áreas como investigación, divulgación y entrenamiento de personal médico, aún hay mucho trabajo por hacer para reducir esta problemática de salud pública.

La Secretaría de Salud de México ha definido al “accidente ofídico” como una lesión cutánea ocasionada por la mordedura de una serpiente venenosa, seguida de la inoculación de sustancias tóxicas que lesionan los tejidos y ocasionan alteraciones fisiopatológicas de gravedad variable (SSA, 2010). En México ha habido en promedio más de 3600 casos de mordedura de serpiente venenosa anualmente desde el 2003 hasta el 2018 (Figura 6; SSA, 2018). La mayoría (más del 40%) de estos accidentes ofídicos son ocasionados por una sola especie: la nauyaca, terciopelo o cuatro narices (*Bothrops asper*), mientras que aproximadamente un 45% es ocasionado por alguna de las 40 especies de cascabeles presentes en el país (SSA, 2010; Gutiérrez, 2014). De los casi 60 mil casos de accidente ofídicos registrados en el mismo periodo de tiempo, alrededor del 60% fueron hombres (SSA, 2018).

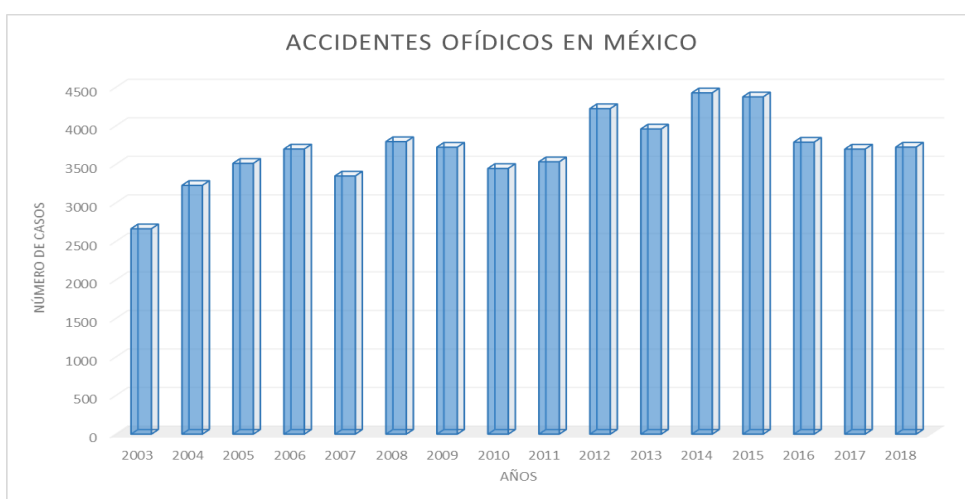


Figura 6. Número de casos de accidentes ofídicos en México

Se han realizado estudios sobre la problemática que representan los accidentes ofídicos en México, con la finalidad de hacer notar la problemática a las autoridades y tomen en cuenta esta enfermedad desatendida. González-Rivera et al. (2009) realizaron un estudio sobre la epidemiología de las mordeduras de serpientes venenosas, abordándolas desde diferentes perspectivas. En su estudio mencionan que las estadísticas son variables, por ejemplo en 1994-95 se reportaron 627 casos y 30 defunciones, mientras que en 1997 se reportaron 27,480 casos y 136 defunciones en todo México. Siria y Arellano (2009) analizan los ofidismos del periodo 2003-2007, concluyendo que el mayor número de casos de accidentes ofídicos se presentaron en los estados de Oaxaca, Veracruz, San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla, en el periodo entre julio-octubre y en el grupo de edad 25-44 años, además de un 67% de los casos son masculinos ya que se relacionan más con actividades agrícolas.

Yáñez-Arenas (2014) realizó un estudio epidemiológico en el estado de Veracruz en el periodo del 2003-2012 en el que contabiliza los casos de accidentes ofídicos por municipio así como calcula las tasas de incidencia por cada 100,000 habitantes. Concluye que los municipios con mayor cantidad de accidentes ofídicos coinciden con tener la mayor población rural y con alto grado de marginación además de traslaparse con la presencia de la nauyaca (*Bothrops asper*). Yáñez-Arenas et al. (2016) hacen un estudio similar en el estado de Yucatán, donde concluyen que los municipios con mayor número de casos de accidentes ofídicos no son necesariamente los que tienen una mayor tasa de incidencia, esto lo explica por la diferencia en cantidad de población en dichos municipios. Ambos estudios hacen mención de la necesidad de mayor difusión del tema para sensibilizar tanto a la población como al gobierno y así disminuir esta problemática de salud. Suárez y Luna (2009) mencionan en su estudio en Chiapas, analizando el periodo 2003-2007, que los hombres son los más afectados por este problema y que los meses de abril y septiembre es cuando se registraron más accidentes ofídicos. Muestran una tendencia negativa en las mortalidades desde 1990 al 2007. Adicionalmente describen las especies venenosas presentes en el estado, su distribución, medidas preventivas y estadísticas de salud.

El ofidismo es un problema global y se ha abordado desde esa perspectiva en diferentes países, México incluido. Se han realizado muchos estudios en los que analizan las causas principales que exacerban esta problemática, desde el ámbito científico, social, cultural hasta político y legal. Muchos de ellos hacen una serie de recomendaciones para minimizar la tasa de incidencia las cuales se pueden resumir en tres rubros principales (Chippaux, 2008; MSP, 2008; Gil-Alarcón et al., 2011; Reati, 2013; Harrison y Gutiérrez, 2016) como se mencionan en la Figura 7.



Figura 7. Acciones propuestas para combatir los accidentes ofídicos como ETD.

SERPIENTES VENENOSAS DEL MUNDO Y OFIDISMO

Anualmente hay 5.4 millones de mordeduras de serpiente.

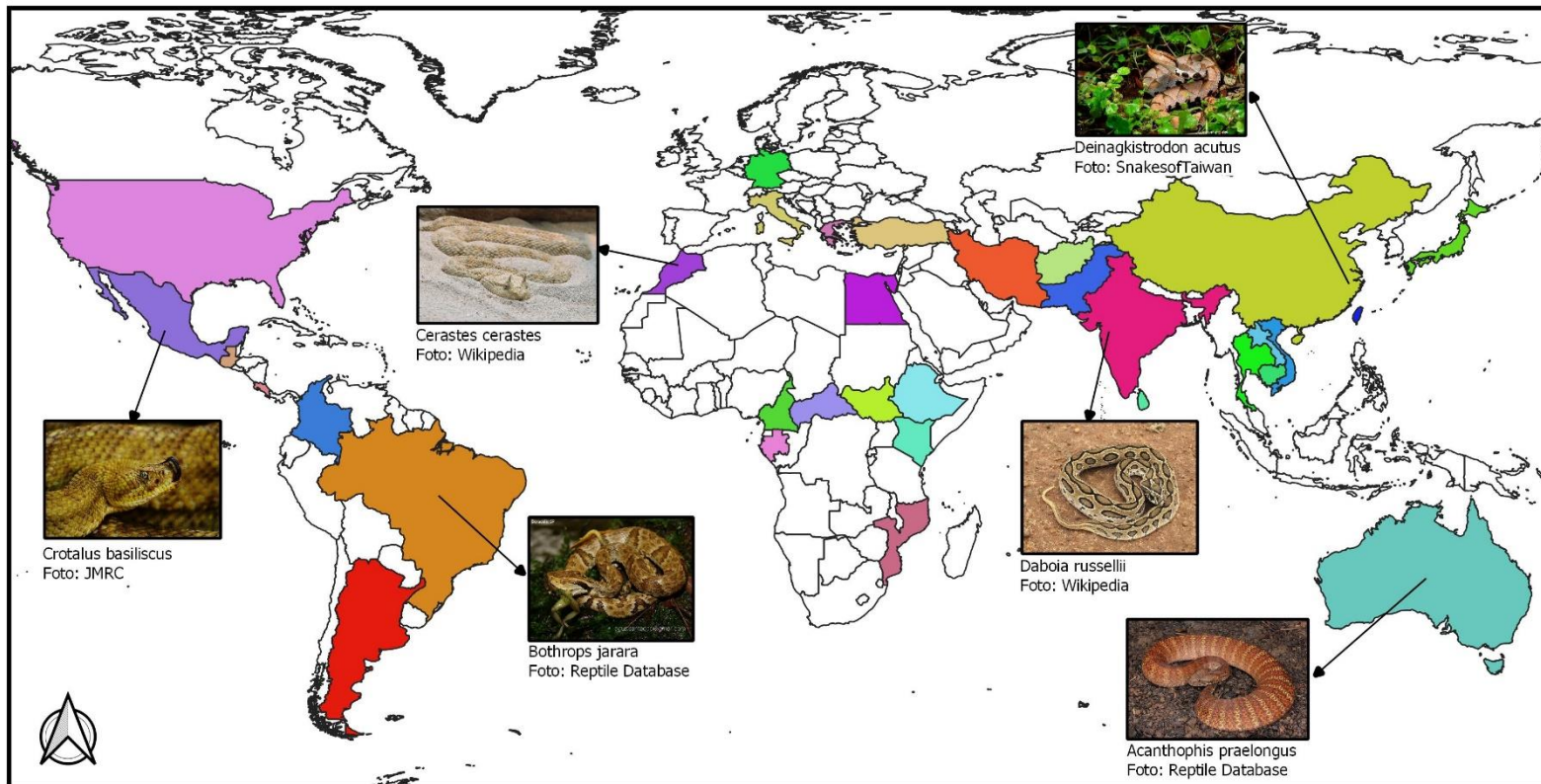
Entre 1.8 y 2.7 millones de casos de envenenamiento y entre 80 y 140 mil muertes, además de amputaciones y otras discapacidades.

Zonas más afectadas: África, Asia y Latinoamérica

Niños, mujeres y trabajadores rurales son los más vulnerables, principalmente en aquellos países con ingresos bajos a medianos y sistemas de salud débiles.

Los accidentes ofídicos se relacionan con la pobreza. Fenómenos meteorológicos como "El Niño" y el calentamiento global influyen en este problema de salud, al modificar los patrones de actividad y distribución de los organismos.

Estas son algunas de las serpientes venenosas que podrían ocasionar accidentes ofídicos en el mundo.



- | | | | |
|---|---|---|---|
| ■ Atheris squamigera | ■ Daboia russelli, Naja naja | ■ Micrurus lemniscatus | ■ Vipera ammodytes |
| ■ Bitis arietans | ■ Deinagkistrodon acutus | ■ Micrurus nigrocinctus | ■ Vipera aspis |
| ■ Bitis gabonica | ■ Dendroaspis angusticeps | ■ Naja haje | ■ Vipera berus |
| ■ Bitis parviocula | ■ Dendroaspis polylepis | ■ Naja kaouthia | |
| ■ Bothrops jararaca | ■ Dispholidus typus | ■ Ophiophagus hannah | |
| ■ Bungarus spp. | ■ Echis carinatus | ■ Oxyranus spp., Acanthophis spp., Notechis spp. | |
| ■ Cerastes cerastes | ■ Eristicophis macmahoni | ■ Pseudocerastes urarachnoides | |
| ■ Crotalus adamanteus | ■ Gloydius blomhoffii | ■ Rhabdophis tigrinus | |
| ■ Crotalus durissus | ■ Lachesis muta | ■ Trimeresurus albolabris | |
| ■ Crotalus spp., Bothrops asper | ■ Macrovipera lebetina | ■ Tropidolaemus wagleri | |

Elaboró: J. M. Rodríguez-Canseco

Figura 8. Distribución de algunas serpientes venenosas en el mundo.

3. Conservación de serpientes de cascabel

Las serpientes de cascabel cumplen un papel importante en los ecosistemas de nuestro país, principalmente como depredadores de otras especies. Su dieta, que tiene cambios ontogénicos, se basa en una gran variedad de presas, desde insectos hasta mamíferos medianos por lo que ayuda a controlar las poblaciones y evita que algunas de ellas se conviertan en plaga (Ávila-Villegas, 2017). Existen algunos estudios sobre la importancia de las serpientes de cascabel en los cultivos alimentarios. En ellos, los autores concluyen que la presencia de las serpientes de cascabel en los cultivos, si bien puede representar un riesgo, también un beneficio, ya que mantienen controladas las poblaciones de roedores y lagomorfos, animales que destruyen los cultivos y pueden disminuir su rendimiento (López del Toro et al., 2009; Martínez-Vaca y López, 2019).

Además tienen un papel importante en la cultura mexicana ya que representaron deidades de dos culturas prehispánicas, *Queztalcoatl* para los aztecas y *Kukulcan* para los mayas (Florescano, 2012). Existen mitos como el origen de los pueblos Kumiai, en Baja California, donde Maihaiowit fue una víbora gigante que procedía de las Islas Coronado que albergaba en su vientre la danza, la cestería, el canto y otras artes y los Kumiai la invitaron para que les enseñara a bailar. Al llegar a la ceremonia, primero entró la cabeza y después, acomodó su cuerpo en espiral. Fue tal su tamaño que los presentes asustados le prendieron fuego, lo que ocasionó que la víbora volara en pedazos y esparciera su conocimiento por todas partes, por tal razón cada tribu ahora es especialista en un arte: hay brujos, curanderos, oradores, unos danzan el gato salvaje y otros el Wakeruk, para algunos la explosión de la víbora originó los diferentes linajes Kumiai. Hacia el río Colorado hay una peña blanca, que es su cuerpo, y una montaña negra, que es su cabeza. La gente se esparció, pero las rocas siguen ahí (Garduño, 2017).

En este sentido, se ha demostrado que dentro de los territorios indígenas se lleva a cabo una mejor conservación de los recursos ya que existe una correlación muy fuerte entre los habitantes y la naturaleza, además ocupan cerca del 20% del territorio a nivel mundial (Larsen y Springer, 2008; Nahuel, 2009). En la península de Baja California existen cinco grupos indígenas con sus respectivos territorios: kumiai, cucapá, paipai, cochimi y kiliwa (SIC, 2019).

Sin embargo, a pesar de su importancia ecológica y cultural, las serpientes de cascabel son algunos de los animales más amenazados en el país pudiendo determinar que el problema de la conservación de las serpientes de cascabel es multifactorial, destacando rubros como:



Figura 9. Amenazas a las serpientes de cascabel. Elaboración propia.

Con base en el conocimiento de tener muchos recursos naturales y la necesidad de protegerlos, el gobierno mexicano comenzó con las acciones necesarias para combatir el posible deterioro. Dichas acciones iniciaron en 1940 con la creación de la Ley de Conservación del Suelo y Agua, se fortalecieron en 1972 durante la Reunión de Estocolmo y con la promulgación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente para alcanzar su pico máximo hasta 1994 con la creación de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). Con la creación de la SEMARNAP y su paso a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en el año 2000 comenzó una nueva etapa de conservación y cuidado del medio ambiente. Además, el tema se volvió público y se comenzó la implementación de algunos instrumentos jurídicos como declaratorias de áreas protegidas, planes de manejo, normas y varias leyes, entre ellas la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente (LGEEPA) y la Ley General de Vida Silvestre (LGVS).

México, a través de la LGEEPA, ha creado 176 Áreas Naturales Protegidas (ANPs) federales, las cuales suman un total de 25,394,779 hectáreas. Además de 332 Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVCs) con otras 493,400 hectáreas (CONANP, 2019). Adicionalmente el país cuenta con el instrumento legal de las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMAs), las cuales son más de 1,700 y un total de más de 38 millones de hectáreas de territorio (SEMARNAT, 2018). Existe, desde el año 2000, una propuesta de Regiones Terrestres Prioritarias (RTPs), seleccionadas por sus características bióticas. Dichas regiones son 152 y tienen una extensión de más de 50 millones de hectáreas (Arriaga et al., 2000). En la península de Baja California hay 16 ANPs, 16 ADVCs, 13 RTPs y 39 UMAs (Tabla 2). Es importante mencionar que muchos de estos polígonos se traslapan sin embargo en todos ellos se protege directa o indirectamente a las serpientes de cascabel.

De acuerdo al estudio realizado por Paredes-García et al. (2011), 8 de las 13 especies (incluyendo a *Crotalus estebanensis*) se encuentran dentro de un ANP en Baja California. Sin embargo su estudio se llevó a cabo antes del decreto del ANP Reserva de la Biósfera Islas del Pacífico de la Península de Baja California (SEGOB, 2016) donde se encuentra *Crotalus oreganus*. De la misma manera se realizó antes de la separación de *Crotalus mitchellii* en *C. pyrrhus*, *C. thalassoporus* y *C. polisi* (Meik et al., 2018). En este sentido, las 12 especies quedarían dentro de al menos un ANP en la península. Su metodología incluyó la elaboración de modelos de nicho ecológico de las especies de *Crotalus* de México y el traslape con los polígonos de las ANPs decretadas hasta ese entonces. En sus estudios Lovich et al. (2009) y Ramírez-Acosta et al. (2012) determinan que especies de herpetofauna y vertebrados endémicos, respectivamente, se encuentran dentro de ANPs.

Tabla 2. ADVCs, ANPs, UMAs y RTPs presentes en la península de Baja California

TIPO	NOMBRE	ESTADO	MUNICIPIO
ADVC	Santa Martha	Baja California Sur	Loreto
	Reserva Ecológica Llanos de Magdalena III	Baja California Sur	Comondú
	Costa Salvaje WildLands	Baja California	Ensenada
	Rancho La Concepción	Baja California	Ensenada
	Reserva Natural Valle Tranquilo	Baja California	Ensenada
	Costa Salvaje WildLands II	Baja California	Ensenada
	Reserva Natural Punta Mazo	Baja California	Ensenada
	Costa Salvaje WildLands III	Baja California	Ensenada
	Reserva Natural Monte Ceniza	Baja California	Ensenada
	Servidumbre Ecológica para la conservación costera y terrestre Rancho San Cristóbal-Majibén	Baja California Sur	Mulegé
	Reserva Ecológica Llanos de Magdalena	Baja California Sur	Comondú
	Reserva Natural El Portezuelo I	Baja California Sur	La Paz
	Reserva Natural El Portezuelo II	Baja California Sur	La Paz
	Reserva Natural El Portezuelo III	Baja California Sur	Loreto
	Reserva Natural El Portezuelo IV	Baja California Sur	La Paz
	Reserva Ecológica Llanos de Magdalena II	Baja California Sur	Comondú
ANP	APFF Cabo San Lucas	Baja California Sur	Los Cabos
	PN Zona marina del Archipiélago de Espíritu Santo	Baja California Sur	Frente a las costas de La Paz
	RB Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado	Baja California y Sonora	Mexicali y San Luis Río Colorado
	PN Zona marina del Archipiélago de San Lorenzo	Baja California	Frente a las costas de Ensenada
	RB Zona marina Bahía de los Ángeles, canales de Ballenas y de Salsipuedes	Baja California	Frente al municipio de Ensenada
	PN Constitución de 1857	Baja California	Ensenada y Mexicali
	PN El Vizcaíno	Baja California y Baja California Sur	Ensenada, Mulegé y Comondú
	APFF Islas del Golfo de California	B.C., B.C.S., Sonora y Sinaloa	Mexicali, Ensenada, La Paz, Loreto y Mulegé

TIPO	NOMBRE	ESTADO	MUNICIPIO
ANP	PN Sierra de San Pedro Mártir	Baja California	Ensenada
	APFF Valle de los Cirios	Baja California	Ensenada
	RB Complejo Lagunar Ojo de Liebre	Baja California y Baja California Sur	Ensenada y Mulegé
	RB Islas del Pacífico de la Península de Baja California	Baja California y Baja California Sur	Costa occidental de Baja California y Baja California Sur
	APFF Balandra	Baja California Sur	La Paz
	RB Sierra La Laguna	Baja California Sur	La Paz y Los Cabos
	PN Cabo Pulmo	Baja California Sur	Frente al municipio de Los Cabos
	PN Bahía de Loreto	Baja California Sur	Frente a las costas de Loreto
UMA	Ejido Bramadero	Baja California	Ensenada
	Juan Cota, S. de P. R. de R. L.	Baja California	Ensenada
	Ejido Matomi	Baja California	Ensenada
	Juan Cota, S. de P. R. de R. L.	Baja California	Ensenada
	Rancho Santa Rosa	Baja California	Ensenada
	Ejido Revolución	Baja California	Ensenada
	Rosarito (Suspendida temporal)	Baja California	Ensenada
	N.C.P.E. Ley Federal de Aguas No. 1	Baja California Sur	Comondú
	N.C.P.E. Ley Federal de Aguas No. 3	Baja California Sur	Comondú
	Isla Margarita	Baja California Sur	sd
	N. C. P. E. Lic. Alfredo V. Bonfil	Baja California Sur	Mulegé
	El Ejido La Purísima	Baja California Sur	Comondú
	Loreto	Baja California Sur	Loreto
	Ejidos Centrales	Baja California	Mexicali
	El Topo	Baja California	Ensenada
	Palmerin	Baja California	Mexicali
	Kilómetro 57	Baja California	Mexicali
	Ejido Real del Castillo	Baja California	Ensenada
	Ejido Luis Encinas Johnson	Baja California	San Luis Río Colorado
	Bahía de San Quintín	Baja California	Ensenada
	Los Sánchez II	Baja California	Mexicali
	Los Sánchez II	Baja California	Mexicali
Santa Lucia	Baja California	Ensenada	
Lomas Pelonas	Baja California	Ensenada	
Rodeo del Rey	Baja California	Ensenada	

TIPO	NOMBRE	ESTADO	MUNICIPIO
UMA	Valle Redondo	Baja California	Ensenada
	El Apache	Baja California	Ensenada
	Rancho El Arrastradero	Baja California	Ensenada
	Ejido Jamau	Baja California	Ensenada
	Ejido San Javier	Baja California Sur	Comondú
	Isla El Carmen	Baja California Sur	Loreto
	Rancho Los Pumas	Baja California Sur	Comondú
	Ejido Tepentu	Baja California Sur	Comondú
	Ejido Santo Domingo	Baja California Sur	Comondú
	Rancho El Cazador	Baja California Sur	San José del Cabo
	El Palo Amarillo	Baja California Sur	La Paz
	Los Pocitos Fracción A	Baja California	Ensenada
	Los Pocitos Fracción B	Baja California	Ensenada
	Ejido Francisco R. Serrano	Baja California	Ensenada
RTP	Sierra de La Laguna	Baja California Sur	La Paz y Los Cabos
	Sierra El Mechudo	Baja California Sur	Loreto, Comondú y La Paz
	Planicies de Magdalena	Baja California Sur	Comondú y La Paz
	Sierra La Giganta	Baja California Sur	Loreto y Comondú
	El Vizcaíno-El Barril	Baja California y Baja California Sur	Ensenada, Mulegé
	Sierras La Libertad-La Asamblea	Baja California	Ensenada
	Valle de los Cirios	Baja California	Ensenada
	San Telmo-San Quintín	Baja California	Ensenada
	Sierra de San Pedro Mártir	Baja California	Ensenada, Mexicali
	Punta Banda-Eréndira	Baja California	Ensenada
	Delta del Río Colorado	Baja California	Mexicali
	Santa María-El Descanso	Baja California	Tijuana, Playas de Rosarito, Ensenada
	Sierra de Juárez	Baja California	Tecate, Mexicali, Ensenada
	<p>ADVC= Área Destinada Voluntariamente a la Conservación. ANP= Área Natural Protegida. UMA= Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre. RTP- Región Terrestre Prioritaria. RB= Reserva de la Biósfera. APFF= Área de Protección de Flora y Fauna. PN= Parque Nacional (CONABIO, 2004; SEMARNAT, 2013; SEMARNAT, CONANP, 2017)</p>		

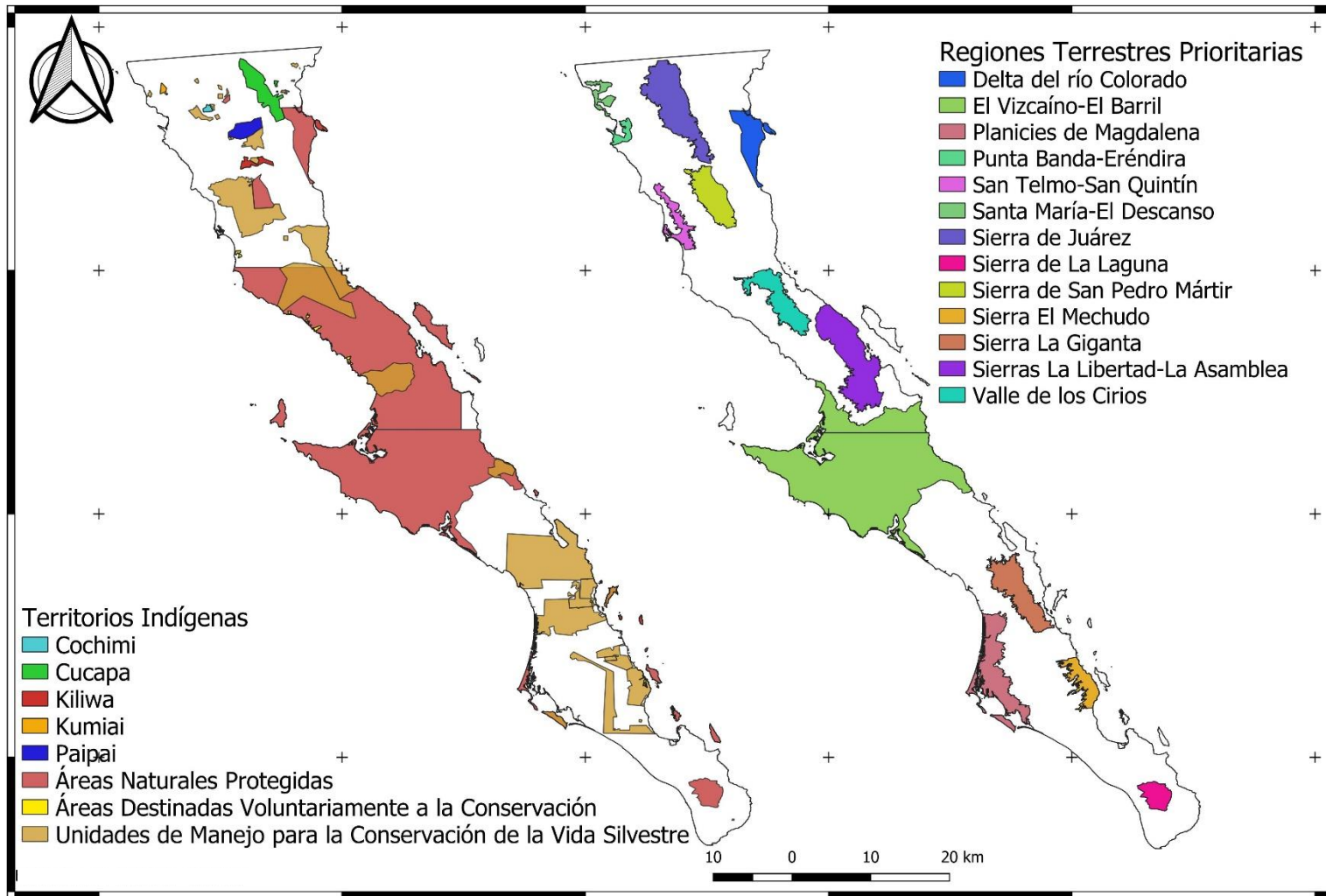


Figura 10. Polígonos de conservación y manejo en la península de Baja California (CONABIO, 2004; SEMARNAT, 2013; GeoComunes, 2015; SEMARNAT, CONANP, 2017)

En junio de 1992 se firmó el Convenio sobre la Diversidad Biológica en la reunión de Río de Janeiro, en el cual se estipula que los países deben diagnosticar su diversidad biológica y clasificarla en las categorías correspondientes, constituyendo así la lista de especies protegidas por la legislación mexicana a través de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-2010-SEMARNAT (SEMARNAT, 2010). Existen otras instancias que se encargan de evaluar y clasificar las especies de acuerdo a su vulnerabilidad, una de ellas es la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), la cual emita la Lista Roja de Especies Amenazadas (UICN, 2019). En este sentido, en la península de Baja California y sus islas, se distribuyen 15 especies de las cuales cinco están Sujetas a Protección Especial (Pr), dos Amenazadas (A) y ocho sin categoría de acuerdo a la NOM-059; mientras que de acuerdo a la UICN, once están catalogadas como de Preocupación Menor (LC), una como Críticamente En Peligro (CR) y tres sin categoría. En cuanto a endemismos, ocho de las especies se distribuyen solamente en islas, dos son endémicas a la península y cinco tienen rangos de distribución hacia otras partes de México y Estados Unidos. En el 2018 se llevaron a cabo dos reuniones de expertos en serpientes de cascabel para evaluar el estado de conservación a través del Programa de Acciones para la Conservación de Especies (PACE), donde proponen una recategorización de las especies del género *Crotalus* en México (Tabla 3).

Tabla 3. Categorías de protección y endemismos de las cascabeles de la península de Baja California (SEMARNAT, 2010; UICN, 2019)

Especie	Nombre común	NOM-059	UICN	PACE	Endémico
<i>Crotalus angelensis</i>	Cascabel de Isla Ángel de la Guarda	S/C	LC ↔	A	Isla
<i>C. atrox</i>	Cascabel de diamantes	Pr	LC ↔	Pr	NO
<i>C. catalinensis</i>	Cascabel de la Isla Santa Catalina	A	CR ↓	A	Isla
<i>C. cerastes</i>	Víbora cornuda	Pr	LC ↔	A	NO
<i>C. enyo</i>	Cascabel de Baja California	A	LC ↔	P	Península
<i>C. lorenzoensis</i>	Cascabel de la Isla San Lorenzo	S/C	LC ↔	A	Isla
<i>C. mitchellii</i>	Cascabel peninsular	Pr	LC ↔	A	Península*
<i>C. oreganus</i>	Cascabel peninsular occidental	S/C	LC ↔	P	NO
<i>C. polisi</i>	Cascabel de Isla Piojo	S/C	S/C	A	Isla
<i>C. pyrrhus</i>	Cascabel moteada	S/C	S/C	P	NO
<i>C. ruber</i>	Cascabel de diamantes rojos	Pr	LC ↓	A	NO
<i>C. thalassoporus</i>	Cascabel de Isla Cabeza de Caballo	S/C	S/C	A	Isla

S/C- Sin Categoría. Pr- Sujeta a Protección Especial. A- Amenazada. P-Peligro de Extinción LC-Least Concern. CR-Critically Endangered. ↔- Poblaciones estables. ↓- Poblaciones disminuyendo. *-Según Meik et al. (2018). PACE-Nueva propuesta de categorización, SEMARNAT, 2018

En serpientes se encontró hace relativamente poco tiempo un hongo parásito que también podría poner en riesgo la existencia de algunas poblaciones (Bustos et al., 2018). Se le llama

Ophidiomyces ophiodiicola y solo infecta a las serpientes provocándoles hinchazón y costras, se contagia por contacto directo con otras serpientes infectadas o por sustrato contaminado (Allender et al., 2015). Desafortunadamente, debido a la novedad del descubrimiento, no se ha diagnosticado correctamente la biología del patógeno y una posible cura.

Debido al creciente mercado mascotas no tradicionales, la gente extrae ejemplares nativos para venderlos a bajos costos, sin saber que existen vías legales como por medio de UMA's donde podrían venderlos a mejores precios sin poner en riesgo a la población de serpientes y su libertad. También la gente extrae animales porque suponen que sirven como remedios medicinales para un sinnúmero de malestares. La serpiente de cascabel es uno de los animales a los que se les asocian más leyendas y propiedades medicinales. Entre las creencias más comunes están que su carne cura el cáncer, que su grasa es buen remedio para los granitos y que su cascabel te ayuda a oír mejor si lo colocas en tu oído, todas éstas son comunes en gran parte del país, por lo que muchas especies son cazadas por su carne "milagrosa" (Ávila-Villegas, 2017).

El cambio climático es un problema dinámico que está causando cambios en los patrones de lluvia y en la temperatura global (PICC, 2007) y por ende, afecta a los ecosistemas y a las especies que viven en ellos. Al aumentar la temperatura, se ponen en riesgo aquellas especies que habitan en montañas, cuyas adaptaciones les permiten solo sobrevivir en temperaturas bajas. De igual manera, con periodos largos de sequía se ponen en peligro especies desérticas que sobreviven con la poca precipitación anual, como el caso de las especies de la península (Ávila-Villegas, 2017).

La gran mayoría de especies de cascabel son de baja movilidad, debido a su anatomía tienen un ámbito hogareño reducido y sus desplazamientos no son a distancias largas. La serpiente de cascabel sin cascabel de isla Santa Catalina o Catalana (*Crotalus catalinensis*) en el golfo de California tiene un rango de movilidad de hasta 37 metros diarios, alejándose muy poco de su madriguera (Arnaud et al., 2008), esto se podría extrapolar hacia otras especies con requerimientos de hábitat similares. Este bajo desplazamiento es una desventaja ante la constante fragmentación de hábitat porque durante el desarrollo de los proyectos (carreteros, energéticos, turismo, habitacional, etc.) no siempre se realizan actividades correctas de rescate y reubicación de fauna. Aunado a la baja movilidad, la condición de poiquilotermos (Vitt y Caldwell, 2009) obliga a las serpientes a termorregular. En muchas ocasiones lo hacen sobre caminos (Carbajal-Márquez, 2013), ya que son sitios que se calientan rápido en las primeras horas del día y se mantiene caliente después del ocaso, siendo sitios atractivos para reptiles en general. El resultado normalmente es de muchos

animales atropellados (Lazcano et al., 2009; Lazcano et al., 2017; Cruz-Sáenz et al., 2018), aplastados por la maquinaria pesada, arrastrados junto con la vegetación tumbada o simplemente matados por el personal no sensibilizado.

En Baja California hay grandes extensiones de territorio que permanecen sin modificarse o con poca modificación (Mapa 3). La extensión de las zonas agrícolas es poca en comparación con el total de la superficie de la península, considerando que según INEGI (2017a, b) más del 55% de la tierra no es apta para cultivos o ganadería. En toda la península se tenían hasta el 2014 casi 500 mil cabezas de ganado, mientras que en el estado vecino de Sonora se tenían poco más de 1.6 millones de cabezas de ganado. En este sentido, la modificación del hábitat en la zona de estudio se ha dado por manchas urbanas, caminos, turismo, minería, agricultura y ganadería (INEGI, 2017a, b).

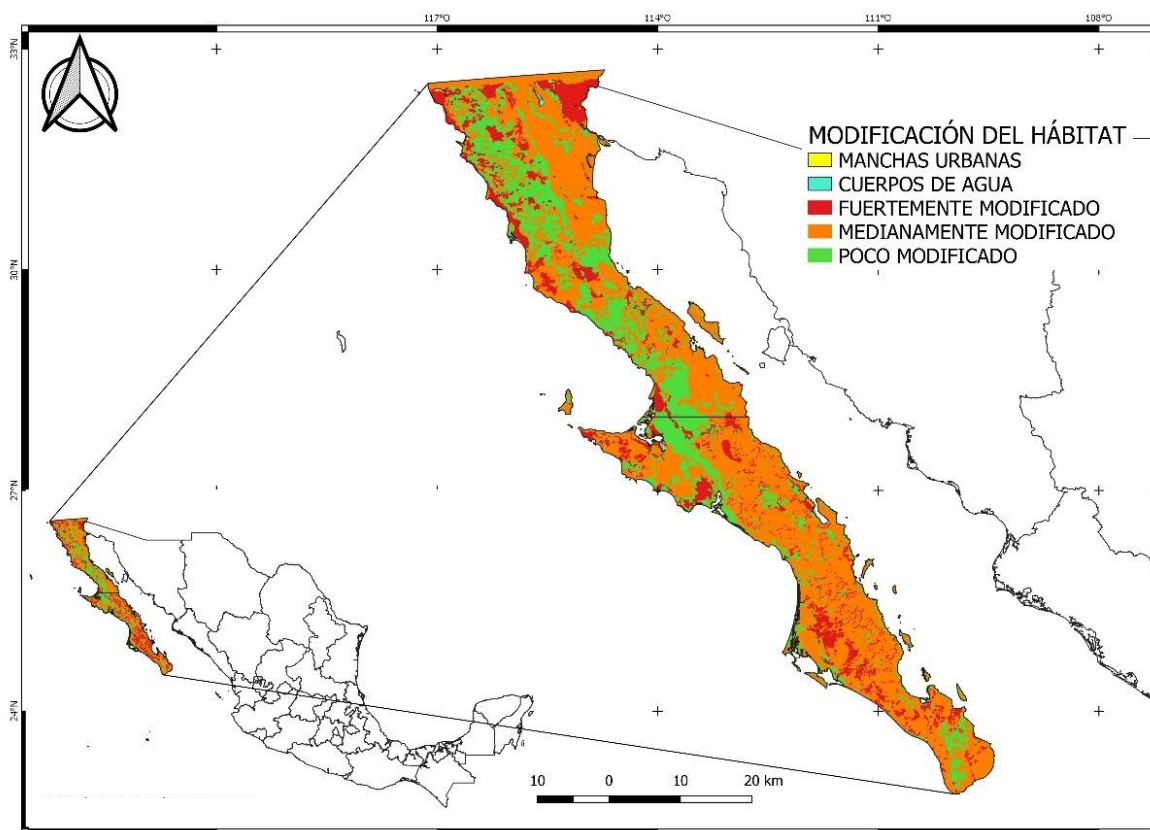


Figura 11. Grado de modificación del paisaje en la península de Baja California (Soto Esperanza et al., 2001)

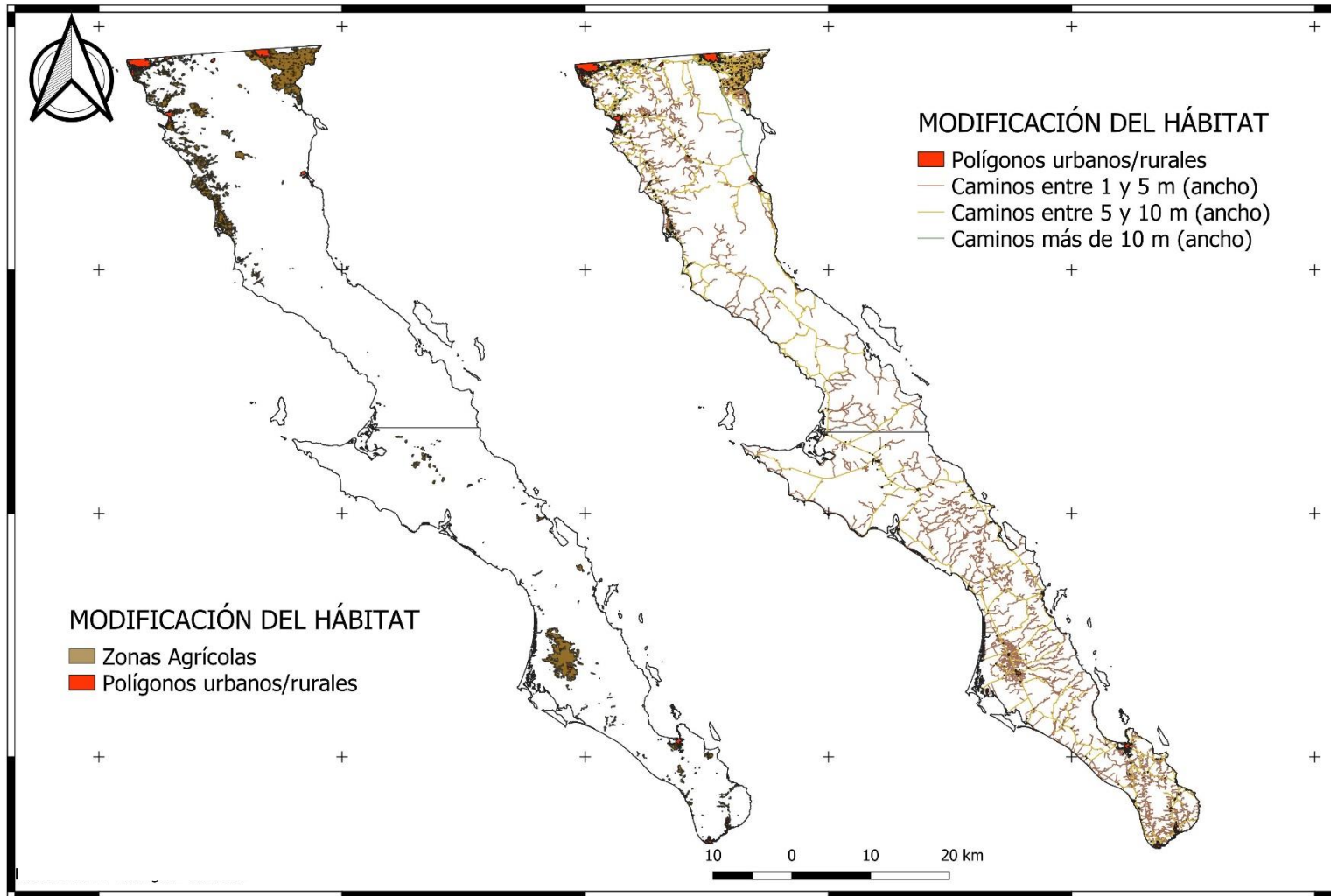


Figura 12. Modificación del hábitat por zonas agrícolas y caminos (INEGI, 2014a, 2016a, b, c).

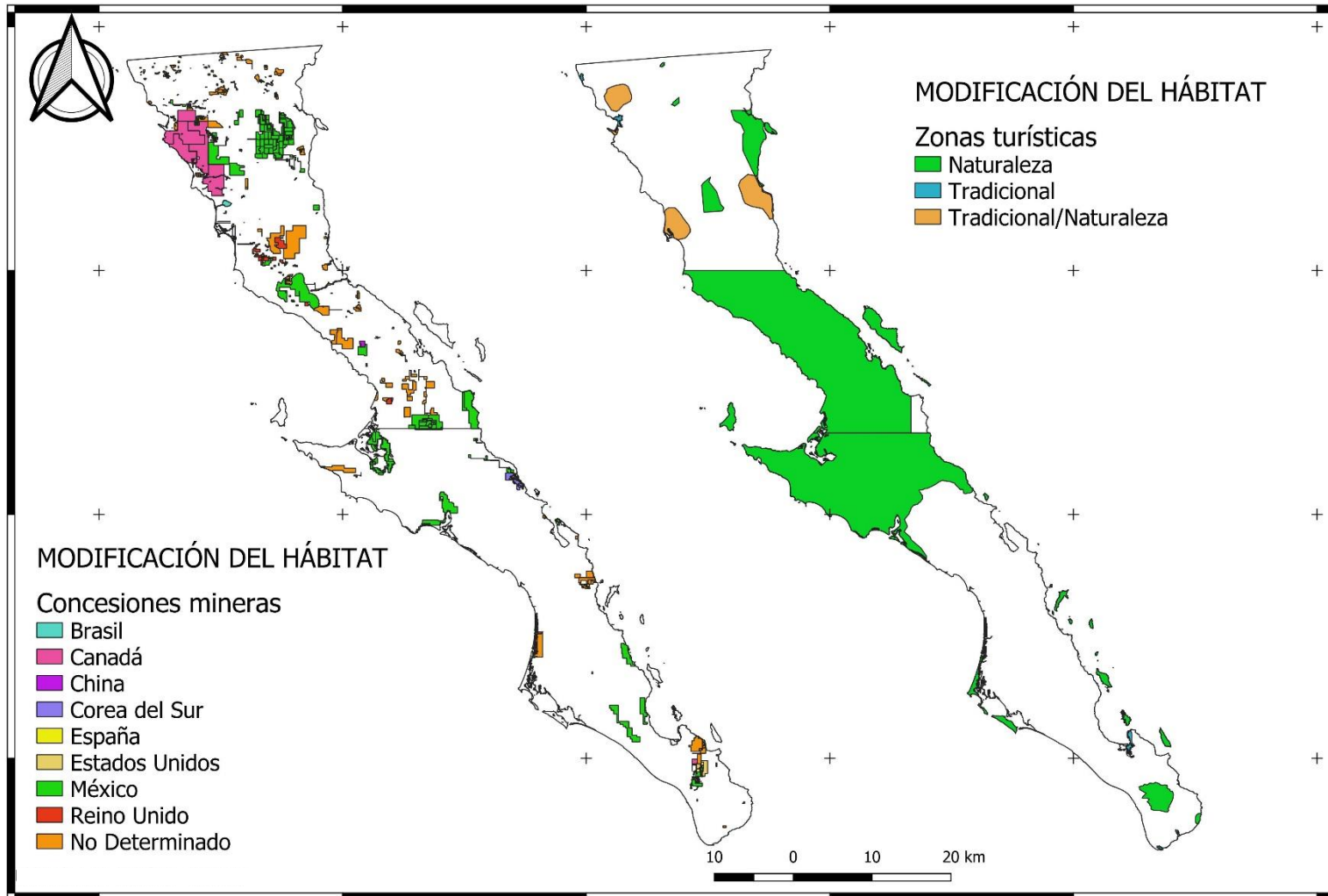


Figura 13. Zonas con turismo que impacta el hábitat y concesiones mineras en la península de Baja California (no todas se encuentran activas) (GeoComunes. 2015b; elaboración propia a partir de información de Secretaría de Turismo).

4. Modelado de nicho ecológico

El nicho se ha definido de manera diferente desde que Grinnell usó la palabra por primera vez. Se puede tomar como el rol ecológico que cumple cada especie dentro de un ecosistema en particular o como una unidad espacial donde se puede encontrar determinada especie de acuerdo a sus necesidades básicas de supervivencia. Para estudios sobre modelado de nicho ecológico, se toma como definición de nicho un concepto abstracto en donde convergen las condiciones ambientales favorables para que exista una población de una especie (Soberón, 2007; Colwell y Rangel, 2009; Blonder et al., 2014). Sin embargo, en ocasiones las condiciones ambientales tienen una distribución más amplia que la especie misma, esto se debe a las posibilidades intrínsecas de los organismos a desplazarse. Para un ave o un puma, un rango de distribución de 50 km² puede ser muy poco, pero para un insecto o un reptil un rango de 2 km² puede ser suficiente. En este sentido, el nicho se puede dividir en tres tipos:

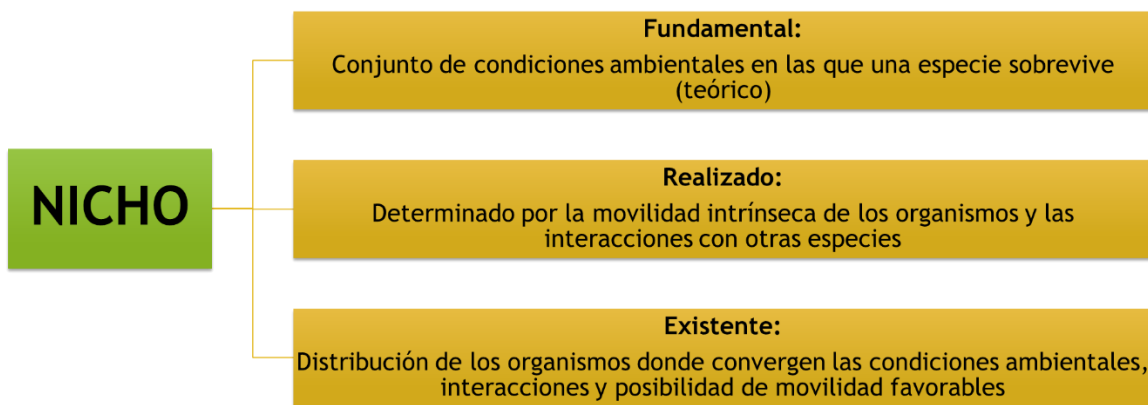


Figura 14. Tipos de nicho ecológico.

En la figura 15 Soberón y Nakamura (2009) ilustran el diagrama BAM por sus siglas en inglés, en donde A representa los sitios con las condiciones ambientales en las que sobrevive y reproduce la especie (nicho fundamental). La región B representa sitios donde las condiciones biológicas (competidores, depredadores, enfermedades) son favorables. La Región M representa sitios que la especie puede habitar y desplazarse por su capacidad de movilidad considerando también barreras y distancias. G_0 representa el área real de distribución de la especie, donde las condiciones abióticas y bióticas son favorables. La G_1 es una zona de distribución invaluable si la estructura de M cambia

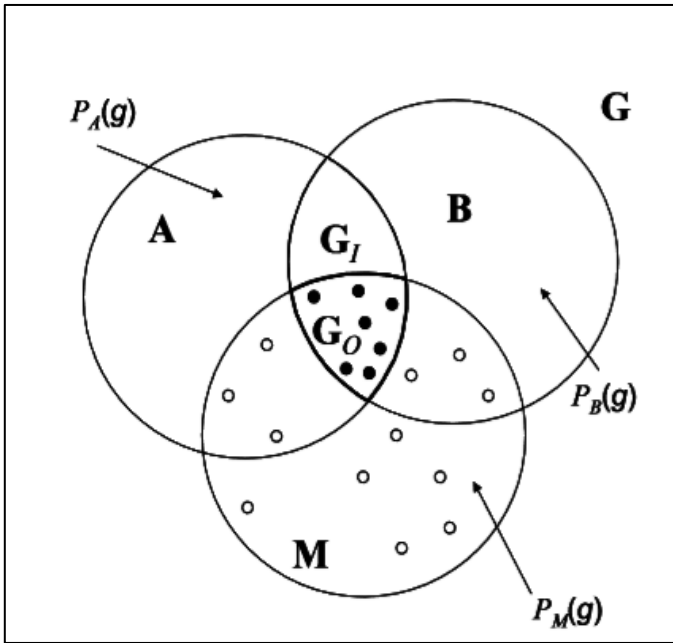


Figura 15. Diagrama BAM (Soberón y Nakamura, 2009)

Uno de los aspectos más importantes para entender la ecología de las especies, es su distribución espacial. La modificación constante del hábitat y fenómenos meteorológicos como el calentamiento global cambian los patrones de distribución, complicando su comprensión completa, a pesar de que se ha estudiado por muchos años. Una de las teorías que se utilizó para explicar los patrones de distribución es la del nicho ecológico, sin embargo conlleva algunas limitantes como la explicación de las abundancias, el donde y el por qué algunas especies son más o menos abundantes (Tórres et al., 2012). Esto se ha explicado con la extensión de la teoría del nicho de Maguire que propone una estructura interna del nicho, donde el centro presenta las condiciones óptimas para la especie. También hipotetiza que la abundancia de la especie es mayor conforme la distancia al centro del nicho sea menor (Maguire, 1973). Esta teoría ha sido comprobada en diferentes estudios que muestran una relación inversa entre el centro del nicho y la abundancia de organismos (Yáñez-Arenas et al., 2012b; Martínez-Meyer et al., 2013; Yáñez-Arenas et al., 2014; Ureta et al., 2016).

Teniendo en cuenta la importancia de conocer la distribución espacial de los organismos, se han utilizados diferentes metodologías, entre ellas el MODELADO DE NICHOS ECOLÓGICOS (MNE). El MNE relaciona registros espaciales de especies (presencias o ausencias) con las variables ambientales como temperatura, precipitación, altitud etc., y de esa manera poder determinar cuáles son los requerimientos mínimos de una especie para distribuirse en determinado espacio (Hirzel y Lay, 2008; Pliscoff, 2011; Peterson & Soberón, 2012).

Esta metodología ha ganado terreno en los últimos años y se ha utilizado en diferentes rubros que abarcan el manejo de recursos, la conservación y escenarios ante el cambio climático (Lobo et al., 2010), además es una herramienta que puede y debe aportar mucho para la toma de decisiones a diferentes niveles e instituciones. Mediante el MNE se puede predecir el potencial invasivo de algunas plagas, el cambio en los patrones de distribución de especies ante fenómenos como el cambio climático, cálculo de distribuciones potenciales para la protección de especies y el comportamiento de los vectores de enfermedades como el Chagas (Yáñez-Arenas et al., 2012a; Ruiz-Mondragón et al., 2018; Terán-Bracamonte, 2018) y de esta manera poder tomar acciones tanto preventivas como correctivas más dirigidas.

Los MNE requieren de dos series de datos para su funcionamiento:

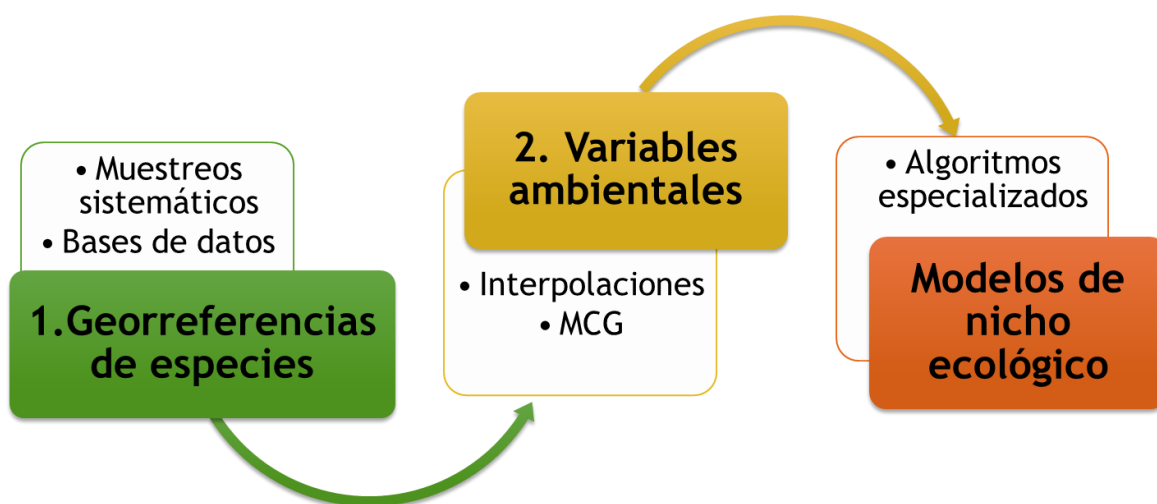


Figura 16. Datos de entrada para los MNE (Elaboración basada en: Hirzel y Lay, 2008).

Se deben seleccionar cuidadosamente los datos a utilizarse, especialmente si no fueron obtenidos por uno mismo. Los registros de especies en bases de datos pueden tener deficiencias entre las que destacan el sesgo en el esfuerzo de muestreo, mala georreferenciación y determinaciones erróneas (Beck et al., 2014). De igual manera las variables ambientales se deben escoger de acuerdo al conocimiento sobre la especie a trabajar y cuáles de ellas podrían afectar su distribución (Willis & Whittaker, 2002; Anderson, 2013). También es necesario asegurarse que las variables ambientales no estén muy correlacionadas entre ellas para evitar la redundancia de los datos, así como utilizar solo aquellas que contribuyan al modelo que generamos. Para la generación de MNE se han

utilizado diferentes algoritmos, dependiendo del tipo de datos que se tengan y el objetivo del trabajo. Por ejemplo MaxEnt trabaja con datos de presencia (Rangel y Loyola, 2012).

MaxEnt trabaja con el principio de la máxima entropía, donde la entropía es una medida de incertidumbre en un proceso por lo que no es predecible, es incierto o desordenado. Cuando se lleva al máximo la entropía, es posible obtener un sesgo menor en las probabilidades y por ende, procesos menos desordenados, los cuales al repetirse generan patrones con los que se realizan las predicciones (Baldwin, 2009). El algoritmo detecta las relaciones no aleatorias entre los datos y estima la distribución de determinada especie (Phillips et al., 2006). Sus predicciones se basan en las densidades de probabilidad por lo que los resultados pueden interpretarse como un índice de idoneidad ambiental (Elith et al., 2011; Rangel y Loyola, 2012). No todos los modelos generados son útiles para nuestros objetivos, por lo que se tienen que validar. Una de los estimadores que se utiliza frecuentemente es el Área Bajo la Curva (AUC), la cual pondera valores de 0 a 1, donde valores arriba .8 se considera bueno el modelo; valores iguales o menores a .5 es un modelo inservible mientras que valores entre .9 y 1 se les considera como un excelente modelo (Swets, 1988).

Se han realizado trabajos con MNE en algunos reptiles, principalmente en escenarios de cambio climático y cómo han modificado su ecología (Maciel, 2017). Los trabajos que se han realizado con la utilización de MNE y serpientes de cascabel son pocos, entre los que destacan el Programa de Acciones para la Conservación de Especies (Jiménez et al., 2018), donde modelaron la distribución potencial de las especies del género *Crotalus* en México y determinan cuales son las amenazas más importantes para las serpientes dependiendo del ecosistema predominante. Paredes-García et al., (2011) modelaron la distribución de las especies de cascabel mexicanas y las traslaparon con los polígonos de ANPs para determinar qué tan protegidas están realmente las especies.

Longbottom et al., (2018) realizaron un mapeo de los hotspots de mordeduras a nivel global con alrededor de 256 especies venenosas y los relacionaron con variables socioeconómicas como disponibilidad de fáboterápicos y servicios de salud. Yáñez-Arenas et al., (2015) modelaron la distribución potencial de 90 especies venenosas de América y las traslaparon con mapas de índice de idoneidad ambiental para obtener mapas de riesgo ofídico, ponderando factores biológicos de cada especie. Yáñez-Arenas et al., (2014) generaron el MNE de las especies de vipéridos venenosos del estado de Veracruz y los relacionaron con las tasas de incidencia de accidentes ofídicos. Además, por medio de la técnica del centroide de nicho, obtuvieron mapas de riesgo ofídico para el estado.

5. Riesgo y Vulnerabilidad

Los términos riesgo y vulnerabilidad han sido utilizados en diferentes ramas de estudio, desde epidemiología hasta sociología y en muchas ocasiones son aplicadas como términos no relacionados e indiferentes (Díaz, 2018). En cuanto al tema de accidentes ofídicos ambos conceptos se usan para delimitar zonas de riesgo (Yáñez-Arenas et al., 2014; Yáñez-Arenas et al., 2015) o para mapear hot spots de vulnerabilidad (Longbottom et al., 2018).

En este estudio se utilizarán los términos modificados por Díaz (2018) en el que define al riesgo como *“la posibilidad de daño a la salud de la población expuesta y vulnerable ante una amenaza climática”*. Aunque solamente lo aplica para amenazas climáticas, se puede entender como riesgo la suma de una amenaza y una población expuesta y vulnerable. En este sentido, la amenaza sería la presencia de las serpientes de cascabel y la población se hace vulnerable por su exposición, por lo que obtendríamos el riesgo de accidente ofídico u ofidismo. Esta definición es muy similar a la propuesta por Wilches-Chaux (1993) que define al riesgo como *“cualquier fenómeno de origen natural o humano que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, que sea vulnerable a ese fenómeno.”*

En cuando a la definición de amenaza, Cardona et al., (2012) la definen como *“la potencial ocurrencia de eventos físicos de origen natural o antropogénico que pueden tener efectos adversos sobre los elementos vulnerables y expuestos”*, aunque ellos también la aplican para fenómenos meteorológicos, se puede aplicar en este contexto. En el escenario de accidente ofídico, la amenaza es la presencia de las serpientes de cascabel, mientras que en el escenario de conservación, la amenaza es la presencia del humano con todas sus actividades antrópicas.

Por último, Díaz (2018) toma algunos conceptos utilizados previamente (Wilches-Chaux, 1993; IPCC, 2012; Cardona et al., 2012) y redefine la vulnerabilidad como *“la predisposición al daño de los elementos expuestos como consecuencia de la conjunción de diversas dimensiones, individuales y colectivas, que limitan el acceso y movilización de los recursos de los seres humanos y de sus instituciones”*. Entonces, podemos entender por vulnerabilidad en este estudio a la exposición tanto de las serpientes, como de los humanos a las diferentes amenazas previamente mencionadas.

JUSTIFICACIÓN

Los accidentes ofídicos son considerados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como Enfermedad Tropical Desatendida (ETD) ya que en lugares como la India, sureste asiático y África tropical hay una alta tasa de incidencia y de mortalidad. En México se calcula que hay un promedio de 3,600 casos de mordedura de serpiente venenosa anuales sin embargo la tasa de mortalidad es lo suficientemente baja para no ser tomado en cuenta como una problemática, erróneamente. A pesar de que ha habido un aumento en la producción y desarrollo de faboterápicos, no siempre se encuentran disponibles, lo que puede traer complicaciones al tratamiento del ofidismo. Muchos casos terminan en amputaciones o pérdida de movilidad en alguna extremidad, lo que genera una baja en la productividad económica del afectado y su familia. Es importante conocer el comportamiento temporal y espacial de esta ETD para poder atenderla de manera correcta. Conociendo las zonas en las que hay mayor riesgo de accidente ofídico así como la temporalidad de los accidentes, se puede lograr una mejor distribución preventiva de los faboterápicos. Muchas de las mordeduras de serpiente venenosa suceden por un desconocimiento que abarca desde no saber en qué zonas existe la posible ocurrencia de las serpientes venenosas, hasta la peligrosidad de las mismas. Conocer la distribución espacial e incluso temporal de las especies venenosas es un factor que puede hacer la diferencia entre un paseo o proyecto sin eventualidades a un viaje obligado al hospital.

La distribución espacial de los organismos es uno de los elementos de la ecología que aún no se termina de comprender por completo, complicado por la constante modificación del hábitat y el cambio climático. Entender por qué están cambiando los rangos de distribución, poder predecir dichos cambios y determinar los factores ambientales que lo podrían ocasionar es una tarea importante. Esta información puede ayudar a tomar decisiones informadas sobre rubros como conservación, planeación urbana y actividades económicas como agricultura, turismo y minería. Además, la conservación de las serpientes de cascabel es un problema al que no se le ha dado la importancia que merece, principalmente porque no son animales carismáticos como borrego cimarrón, jaguar, quetzal, águila real, ajolote etc., a pesar de que son engranes básicos en las cadenas tróficas de los ecosistemas en los que se distribuyen. Hacer evidente la importancia ecológica de las serpientes de cascabel, así como estudiar su distribución espacial, coadyuba a decidir donde se deben tomar acciones de conservación, protección y/o manejo, así como fortalecer aquellas zonas donde ya se está llevando a cabo (ANPs, UMAs, ADVCS, TIs, RTPs), además de señalar las amenazas locales para las poblaciones de serpientes.

En este sentido, de acuerdo al Programa de Acciones para la Conservación de Especies (PACE, SEMARNAT, 2018), las especies de serpientes de cascabel que se encuentran en hábitats desérticos son más vulnerables ante amenazas climáticas además de las antrópicas. La gran mayoría de la península de Baja California se encuentra cubierta por hábitats desérticos, y a pesar que se han hecho estudios poblacionales y ecológicos de las serpientes de cascabel, no se ha terminado de evaluar su grado de vulnerabilidad ante factores antrópicos específicos por zonas. Este trabajo pretende sentar un precedente para conocer de manera mas localizada algunas amenazas en la península, con la expectativa de ser aplicable en otras zonas del país.

Con respecto a los accidentes ofídicos, la península de Baja California es una región poco poblada y con una incidencia relativamente baja de mordeduras de serpientes venenosas, sin embargo, no por eso no debe recibir la atención necesaria ante esta ETD. Ha habido casos de mordeduras en los que los médicos tratantes no pueden atender al paciente correctamente por no tener el conocimiento sobre estos animales ni el tratamiento adecuado. Ambos insumos básicos para atender esta enfermedad, no son prioridad para el sector salud, ya que no gastan en capacitaciones o medicinas para afecciones poco comunes.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la vulnerabilidad y el riesgo de accidente ofídico y de conservación de las serpientes de cascabel (*Crotalus* spp.) en la península de Baja California.

Objetivos específicos

1. Conocer el panorama epidemiológico sobre mordeduras de serpientes venenosas en Baja California
2. Modelar el nicho ecológico de las especies del género *Crotalus* de Baja California
3. Determinar la vulnerabilidad de las especies del género *Crotalus* a actividades antrópicas
4. Determinar la vulnerabilidad de las personas a accidente ofídico.
5. Proponer zonas de riesgo tanto de accidentes ofídicos como para la conservación de las especies del género *Crotalus*.

Hipótesis

Panorama epidemiológico:

Las zonas con presencia de más especies venenosas y con más tiempo de traslado a centros de salud, serán de mayor riesgo ante un envenenamiento por mordedura de serpiente venenosa.

Conservación:

Las especies que tengan la mayor parte de la distribución de idoneidad de sitio dentro de polígonos de conservación y con menor grado de modificación, tendrán una vulnerabilidad menor.

METODOLOGÍA

Descripción del área de estudio

La península de Baja California se encuentra en la esquina noroeste de la república mexicana. Está compuesta por dos estados, Baja California y Baja California Sur, cada uno con cinco municipios. La capital de Baja California es Mexicali y la de Baja California Sur es La Paz. En total tiene una extensión de más de 140 mil kilómetros cuadrados, incluyendo las islas tanto del golfo de California como del pacífico (Tabla 4). Colinda al este con el golfo de California y con el estado de Sonora en el extremo más noreste; al norte colinda con Estados Unidos mientras que al oeste y al sur se encuentra el océano pacífico (Figura 17). Tiene una población total de más de 4 millones de habitantes, siendo Tijuana el municipio más poblado y Loreto el menos poblado (INEGI, 2017a, b).

Tabla 4. Población y extensión territorial por municipios (INEGI, 2017)

Estado	Municipio	Población (2017)	Extensión (km ²)
BC	Ensenada	535,361	53,237.84
	Mexicali	1,052,656	15,794.46
	Playa de Rosarito	108,935	506.11
	Tecate	114,095	2,724.36
	Tijuana	1,773,558	1,252.51
BCS	Comondú	83,268	18,155.51
	La Paz	305,454	15,668.85
	Loreto	22,415	4,586.50
	Los Cabos	328,247	3,710.91
	Mulegé	70,449	31,848.92
TOTAL		4,394,438	147,485.97

La geología de la península corresponde a los periodos jurásico, cretácico, terciario y cuaternario principalmente, donde los tipos de rocas predominantes son ígneas extrusivas e intrusivas, sedimentarias y en menor medida metamórficas y volcanoclásticas. En cuanto a edafología los tipos de suelo dominantes son el litosol y regosol, con sus respectivas variantes, abarcando más del 60% del territorio. En la península se encuentran representadas siete regiones hidrológicas, las cuales se dividen en 21 cuencas y a su vez en 107 subcuencas (Figura 18; INEGI, 2017a, b).

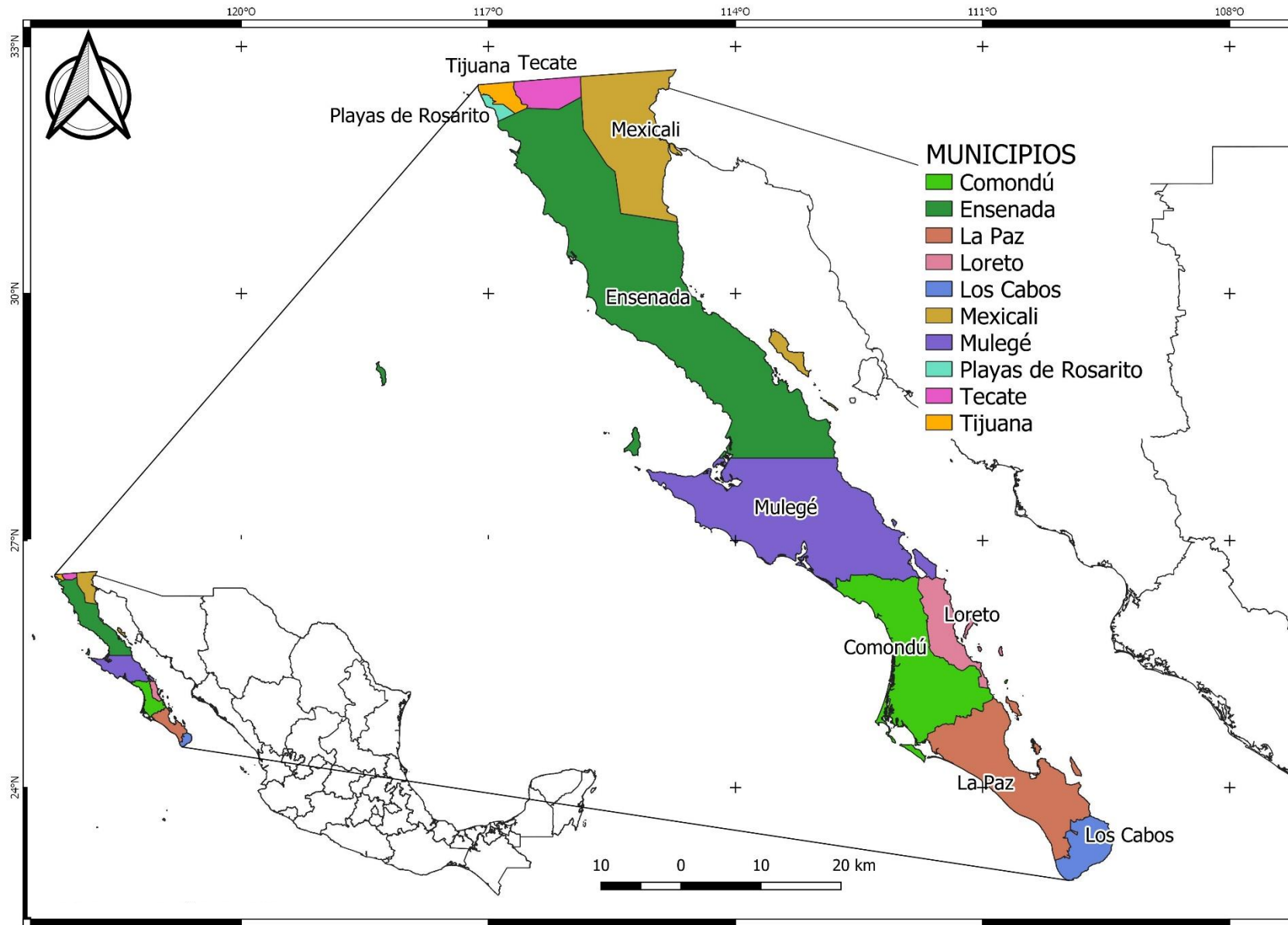


Figura 17. División política y ubicación de la península de Baja California (INEGI, 2010).

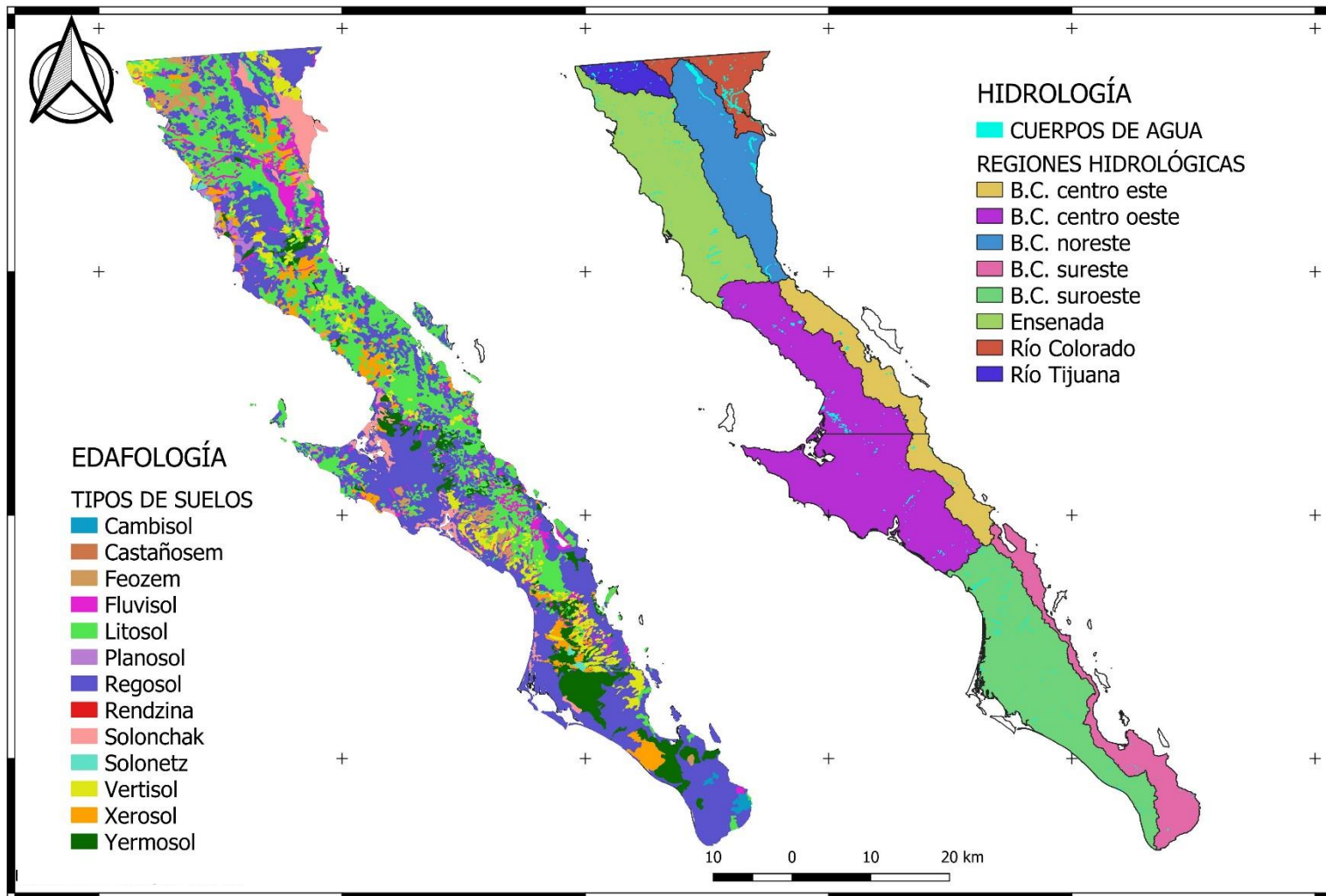


Figura 18. Edafología e hidrología de la península de Baja California (INEGI, 2014b, CONAGUA, 2007).

La elevación de la península va desde los -10 msnm en el municipio de Mexicali, hasta los 3,050 msnm en la Sierra San Pedro Mártir en Baja California (BC) y los 2,080 msnm en Sierra la Laguna en Baja California Sur (BCS). La temperatura media anual oscila entre los 17° en el municipio de Ensenada, BC, hasta los 24.8° en el municipio de Loreto, BCS, siendo julio, agosto y septiembre los meses más calientes. La precipitación media anual varía desde los 335.3 mm en el municipio Los Cabos, BCS hasta los 75 mm, en Bahía de los Ángeles, BC. El tipo de clima predominante en el territorio es el MUY SECO SEMICÁLIDO, abarcando el 60% aproximadamente. El clima templado subhúmedo con lluvias en invierno se localiza en la porción noroeste, correspondiente a la parte mediterránea, mientras que el templado subhúmedo con lluvias en verano se encuentra en la región tropical del cabo (Figura 19).

Tabla 5. Climas de la península de Baja California (García, 1998; INEGI, 2017a, b)

Descripción	Clave
Seco muy cálido y cálido	BS0(h')
Seco semicálido	BSh
Seco templado	BSk
Muy seco muy cálido y cálido	BW(h')
Muy seco semicálido	BWh
Muy seco templado	BWk
Semifrío subhúmedo con lluvias en invierno	C(E)s
Templado subhúmedo con lluvias en invierno	Cs
Templado subhúmedo con lluvias en verano	C(w)

En la península se pueden delimitar distintas regiones o provincias, por ejemplo, de acuerdo a sus formaciones fisiográficas entre las que destacan las serranías que corren longitudinalmente por la península desde Tijuana, abarcando Sierra Juárez, Sierra San Pedro Mártir y Sierra la Giganta, hasta la región del cabo en Sierra la Laguna y las planicies al este de Mexicali y en Mulegé, Comondú y La Paz en el oeste hacia el pacífico. En cuanto a regiones biogeográficas se pueden diferenciar aquellas desérticas que abarcan la mayor parte del territorio, desde el noreste con influencia del desierto sonorense hasta la región del cabo donde tiene influencia tropical; además se encuentra la porción noroeste con influencia californiana del clima mediterráneo (Figura 20; Cervantes-Zamora et al., 1990; CONABIO, 1997).

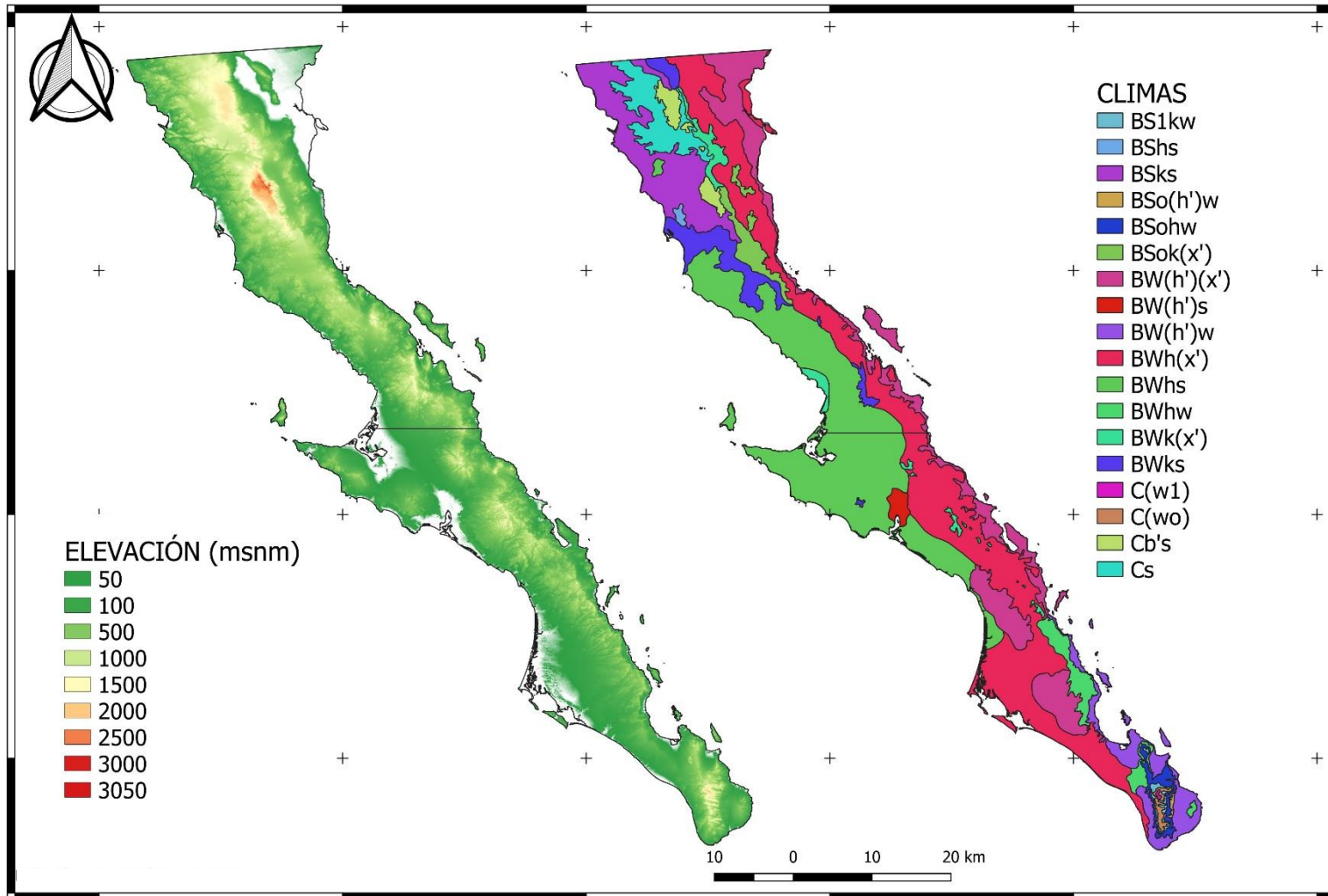


Figura 19. Elevación y climas de la península de Baja California (Guevara y Arroyo-Cruz, 2016; García y CONABIO, 1998).

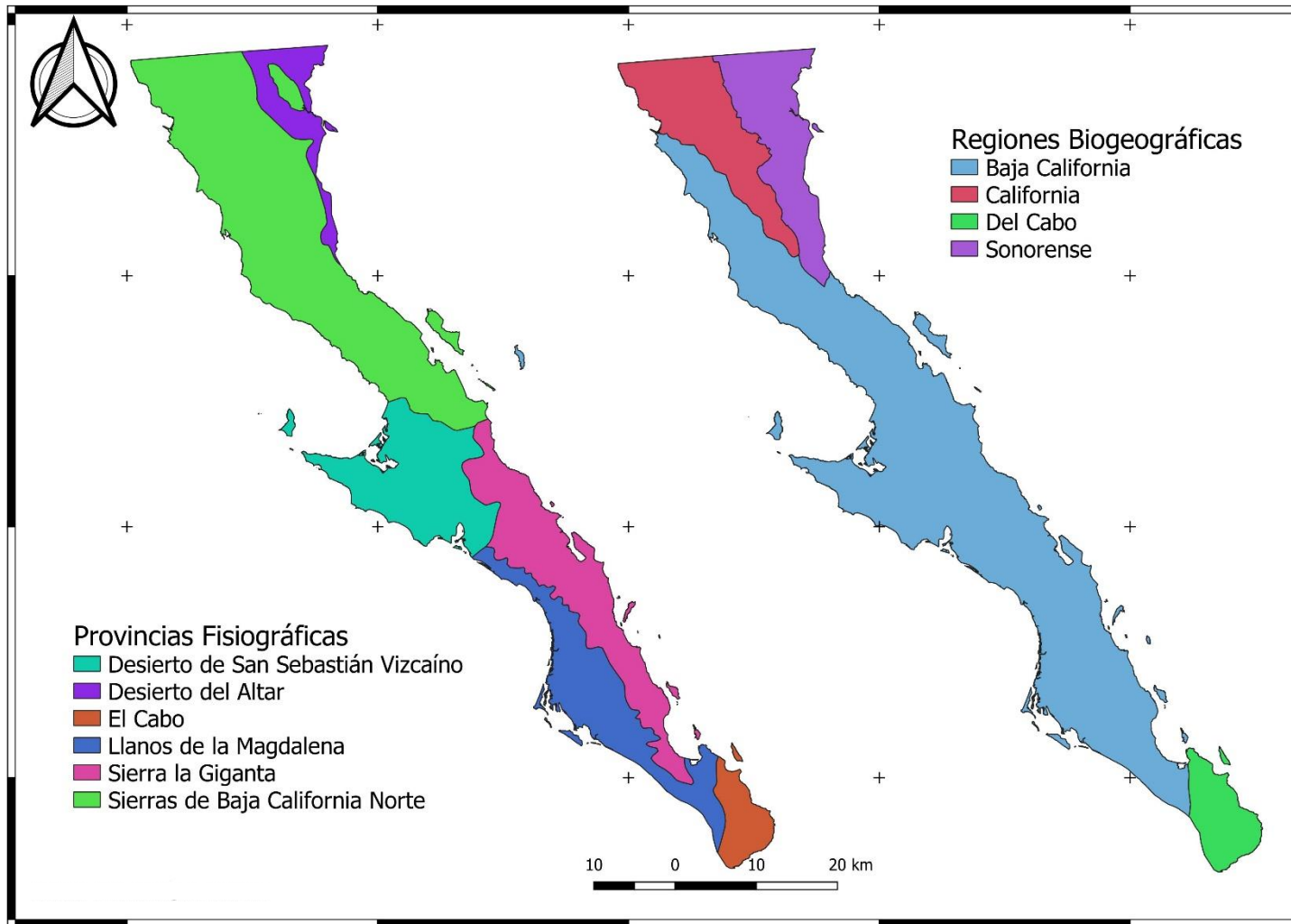


Figura 20. Provincias fisiográficas y regiones biogeográficas de la península de Baja California (Cervantes-Zamora et al., 1990; CONABIO, 1997).

La flora presente en la península de Baja California está asociada en diferentes tipos de vegetación que van desde los bosques templados en algunas sierras como La Laguna y San Pedro Mártir, los matorrales en el desierto central, el chaparral en el noroeste mediterráneo y los bosques tropicales en la región del cabo. En este sentido se pueden delimitar 13 zonas fitogeográficas o ecorregiones con diferentes especies de plantas (Garcillán et al., 2012).

Tabla 6. Ecorregiones y plantas típicas de la península de Baja California (Garcillán et al., 2012)

	ECORREGIÓN	PLANTAS TÍPICAS
Mediterráneo	Sierras californianas	<i>Pinus quadrifolia</i> , <i>Abies concolor</i> , <i>Calocedrus decurrens</i> , <i>Arctostaphylos pringlei</i> , <i>Hesperocyparis montana</i>
	Chaparral	<i>Adenostoma fasciculatum</i> , <i>Malosma laurina</i> , <i>Rhus ovata</i> , <i>Ornithostaphylos oppositifolia</i> , <i>Hesperocyparis forbesii</i>
	Matorral costero	<i>Artemisia californica</i> , <i>Salvia apiana</i> , <i>Eriogonum fasciculatum</i> , <i>Baccharis sarothroides</i> , <i>Opuntia littoralis</i>
	Matorral rosetófilo costero	<i>Agave shawii</i> , <i>Ambrosia chenopodiifolia</i> , <i>Hazardia rosarica</i> , <i>Myrtillocactus cochal</i> , <i>Prunus fremontii</i>
	Islas del Pacífico	<i>Hesperocyparis guadalupensis</i> , <i>Pinus radiata</i> , <i>Quercus tomentella</i> , <i>Brahea edulis</i> , <i>Dudleya guadalupensis</i>
Desierto	Desierto de San Felipe	<i>Larrea tridentata</i> , <i>Ambrosia dumosa</i> , <i>Fouquieria splendens</i> , <i>Agave deserti</i> , <i>Prosopis pubescens</i>
	Desierto Central	<i>Fouquieria columnaris</i> , <i>Pachycormus discolor</i> , <i>Bursera microphylla</i> , <i>Pachycereus pringlei</i> , <i>Yucca valida</i>
	Costa central del Golfo	<i>Bursera hindsiana</i> , <i>Jatropha cinerea</i> , <i>Lysiloma candidum</i> , <i>Fouquieria diguetii</i> , <i>Cylindropuntia bigelovii</i>
	Sierra La Giganta	<i>Prosopis palmeri</i> , <i>Lysiloma divaricatum</i> , <i>Ebenopsis confinis</i> , <i>Acacia brandegiana</i> , <i>Stenocereus thurberi</i>
	Desierto del Vizcaíno	<i>Atriplex julacea</i> , <i>Frankenia palmeri</i> , <i>Encelia farinosa</i> , <i>Bahiopsis deltoidea</i> , <i>Lycium californicum</i>
	Llanos de Magdalena	<i>Tillandsia recurvata</i> , <i>Bursera filicifolia</i> , <i>Prosopis glandulosa</i> , <i>Cytocarpa edulis</i> , <i>Lophocereus schottii</i>
Tropical	Matorral y selva baja del Cabo	<i>Plumeria rubra</i> , <i>Pachycereus pecten-aboriginum</i> , <i>Erythrina flabelliformis</i> , <i>Quercus brandegeei</i> , <i>Sebastiania pavoniana</i>
	Sierra de La Laguna	<i>Quercus tuberculata</i> , <i>Mimosa tricephala</i> , <i>Bernardia lagunensis</i> , <i>Pinus lagunae</i> , <i>Quercus devia</i> , <i>Arbutus peninsularis</i>

Con respecto a fauna terrestre, dentro del territorio de Baja California se distribuyen 754 especies de vertebrados, de los cuales 17 son anfibios, 150 reptiles (Grimer, 2002; Lovich et al., 2009), 123 mamíferos (Álvarez-Castañeda y Patton, 2000) y 464 aves (Howell et al., 2001) de los cuales alrededor de 42 son endémicos a la península (Ramírez-Acosta et al., 2012). Al igual que las plantas, es posible diferenciar regiones faunísticas de acuerdo a las afinidades en algunos grupos como la herpetofauna (Figura 21).

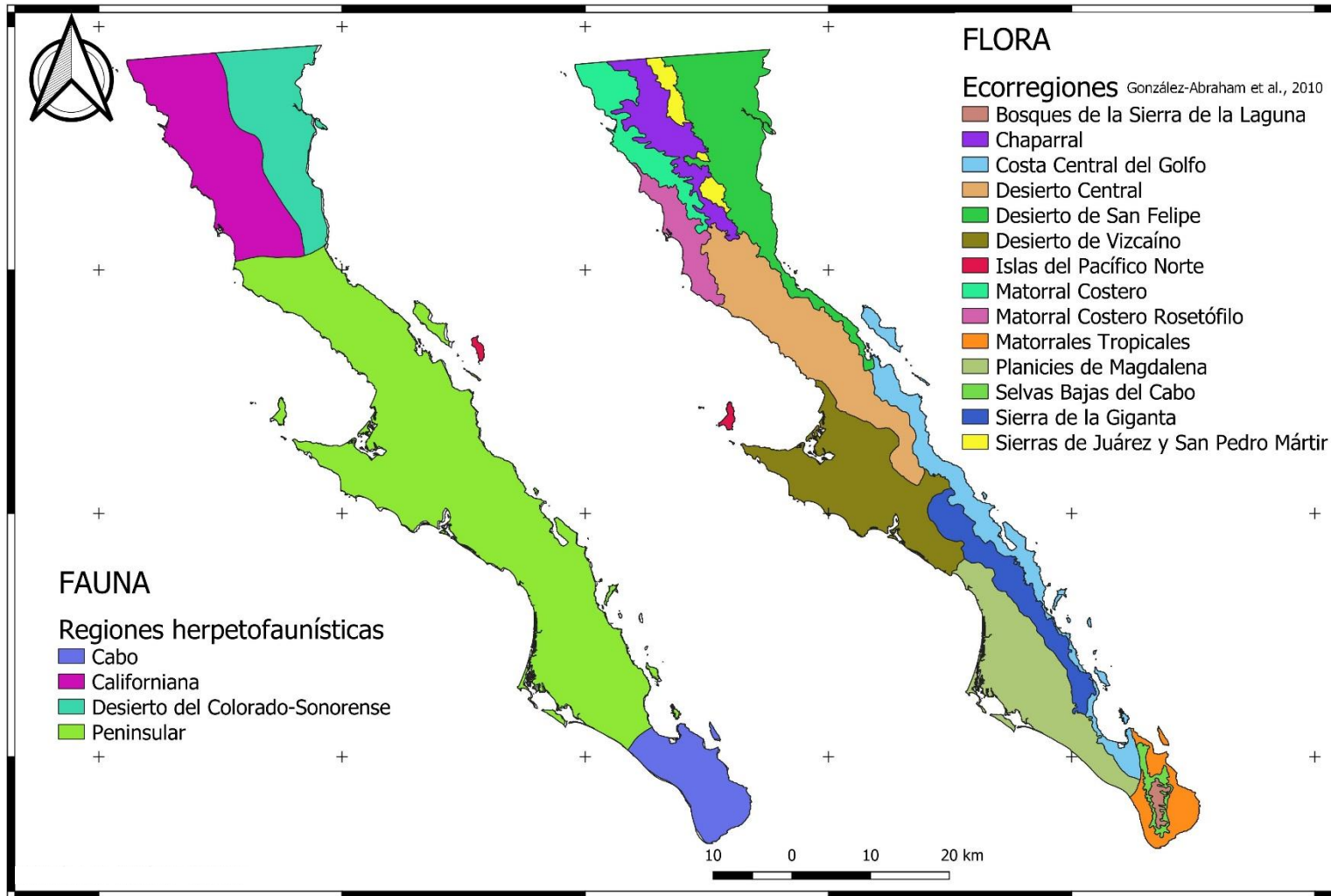


Figura 21. Regiones herpetofaunísticas y ecorregiones fitogeográficas de la península de Baja California (Casas y Reyna, 1990; González-Abraham et al., 2010).

Panorama epidemiológico

Para obtener los datos de incidencias de mordedura de serpiente venenosa a nivel estatal (BC y BCS) se hizo una búsqueda intensiva en los registros semanales del Boletín Epidemiológico, publicado por el Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica y el Sistema Único de Información, los cuales forman parte de la Dirección General de Epidemiología y a su vez de la Secretaría de Salud a nivel federal. En dichos boletines solo se comenzó a usar el término “intoxicación por mordedura de serpiente venenosa” como una enfermedad hasta el año 2003, previamente se utilizaba solo el término “intoxicación por animales de ponzoña” el cual abarcaba arañas, serpientes y otros artrópodos. Es importante mencionar que en las tablas consultadas no se diferencia entre tipo de mordedura, localización geográfica ni grupos de edad, solamente sexo. Para obtener los datos de accidentes ofídicos a nivel jurisdicción se contactó al encargado del Departamento de Epidemiología Estatal del ISESALUD Baja California y en la Dirección de Servicios de Salud en Baja California Sur. En Baja California se manejan cuatro jurisdicciones: 1. Mexicali, 2. Tijuana, Tecate y Playas de Rosarito, 3. Norte de Ensenada, 4. Sur de Ensenada a partir de Vicente Guerrero; en Baja California Sur, cada municipio representa una jurisdicción. Es importante mencionar que estos datos no están diferenciados por sexo, grupos de edad ni localización, solo casos por año y jurisdicción.

Una vez obtenidos los datos de incidencias de accidentes ofídicos tanto estatales como jurisdiccionales, se vaciaron en hojas de cálculo Excel para su manejo. Se calcularon los promedios anuales y semanales para cada estado y un comparativo con el total de México. Se calculó la tasa de incidencia a nivel península, estado y jurisdicción, con el total de los casos en los 16 años al igual que cada año. La tasa se calculó dividiendo el número total de casos entre el total de la población y multiplicado por cada 100,000 habitantes para evitar el sesgo en la diferencia de cantidad de habitantes. Se realizaron gráficas para observar el comportamiento temporal de los accidentes ofídicos en cada estado y en México. Se utilizó el programa SIGepi v. 1.0 (Yáñez-Arenas et al., 2014) para calcular la tasa suavizada por jurisdicción y el programa QGIS 3.4 para elaborar mapas de los resultados.

Modelaje de nicho

Para facilitar el análisis se utilizaron los complejos de especies en lugar de cada especie, esto con base a que no existe una taxonomía definitiva de algunas especies, aunado a que dichas especies comparten muchas características ecológicas. En este sentido se utilizaron para la modelación el complejo “ruber”, complejo “mitchellii”, complejo “oreganus”, *Crotalus enyo* y *Crotalus cerastes*; para *Crotalus atrox* el modelo se realizó con cuatro registros de presencia dentro del área de estudio. Con base en esta clasificación, se obtuvieron 327 registros georreferenciados del sitio Global Biodiversity Information Facility (GBIF, <http://www.gbif.org>), el cual incluye registros de: Museo de Historia Natural de San Diego, Museo de Historia Natural de Los Ángeles, Academia de Ciencias de California, Naturalista y la Base de datos de la colección herpetológica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California. Una vez obtenidos los registros georreferenciados, se eliminaron los duplicados y se elaboraron mapas en el programa ArcGis 10.5. Se separaron los puntos a una distancia de 10 km para evitar modelos tendenciosos.

Las capas bioclimáticas que se utilizaron fueron CHELSA-Climate (Karger et al., 2017; Anexo 1) a una resolución de 30 segundos o 1 km² aproximadamente. Una vez obtenidas las capas, se cortaron utilizando como capa de extensión la península completa. Esas capas se utilizaron en formato ASCII para generar, utilizando el programa/ algoritmo MaxEnt, un primer modelo con el cual se puede realizar una selección de variables. Una vez seleccionadas las variables bioclimáticas que tuvieron mayor aportación al modelo, se procedió a modelar con las capas de toda la península, hasta haber obtenido aquel que tuvo una mejor validación. Este proceso se llevó a cabo con las cinco especies/complejos previamente determinadas.

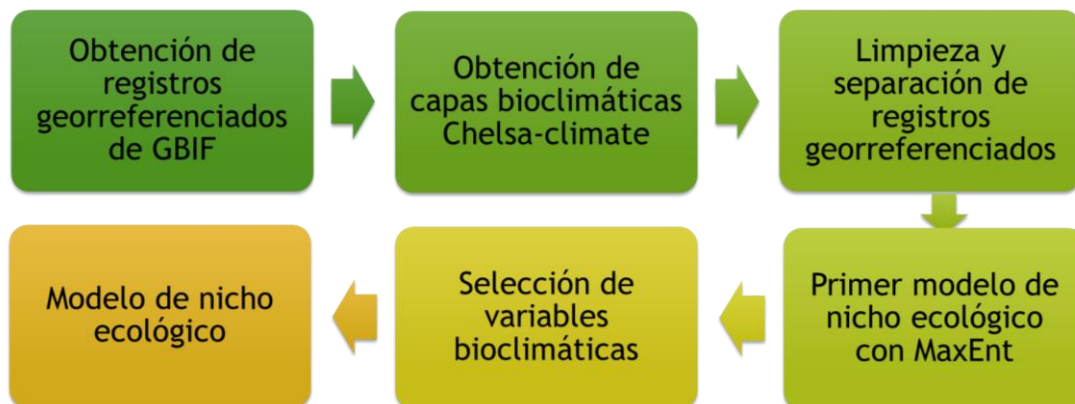


Figura 22. Procedimiento del modelado de nicho ecológico.

Accidentes ofídicos

Los MNE obtenidos fueron vectorizados, se les agregó un buffer y se suavizaron los polígonos para su manejo más sencillo. Posteriormente fueron traslapados para determinar las zonas en las que convergen más de una especie; dependiendo del número de especies que se traslaparon, se les asignó un valor. A la capa zonificada por número de especies, se le traslaparon las capas de factores antrópicos como polígonos urbanos/rurales, turismo y agricultura, ya que son zonas donde la población se encuentra expuesta al encuentro con una serpiente venenosa. Dependiendo de la cantidad de polígonos agrícolas, urbanos, rurales y de turismo que se encontraran dentro de las zonas anteriores, se les asignó un valor y de esta manera se determinaron las primeras zonas de riesgo con base en los valores de la sumatoria. Posteriormente al vector graduado con el número de especies y factores antrópicos, se le traslaparon vectores de centros de salud a los que podrían acudir como primer opción en caso de un ofidismo y se estimó el tiempo de traslado (Longbottom et al., 2018) desde el sitio del posible accidente ofídico hasta los centros de salud con capacidades de tratamiento de un ofidismo (Tijuana, Mexicali, Ensenada, La Paz y Los Cabos). Se consideró las zonas de mayor riesgo las de mayor número de especies presentes, mayor número de actividades antrópicas y mayor tiempo de traslado al centro de salud.

Tabla 7. Ponderaciones de vulnerabilidad ante accidente ofídico y el rango establecido

PONDERACIÓN OFIDISMO			
ESPECIES PRESENTES		TIEMPO DE TRASLADO A CS	
1 ESPECIE	1	< 1 hr	0
2 ESPECIES	2	1-3 hrs	1
3 ESPECIES	3	3-5 hrs	2
4 ESPECIES	4	> 5 hrs	3
ACTIVIDADES ANTRÓPICAS		ACCESO A CENTROS DE SALUD	
AGRICULTURA	2-4	1-5 CENTROS DE SALUD	2
TURISMO DE NATURALEZA	3	6-10 CENTROS DE SALUD	1
ZONA RURAL	2	>10 CENTROS DE SALUD	0
ZONA URBANA	1		
TURISMO TRADICIONAL	1		

Rango total	Riesgo
5 a 10	Riesgo bajo
11 a 15	Riesgo Medio
16 a 20	Riesgo Alto

Conservación

Los MNE obtenidos fueron vectorizados, se les agregó un buffer y se suavizaron los polígonos para su manejo más sencillo. A las capas vectorizadas de cada especie, se le traslaparon las capas de factores antrópicos como polígonos urbanos/rurales, caminos, minería, agricultura y una capa con los niveles de antropización/modificación del paisaje, ya que son los factores que le restan a la conservación. Así mismo se le traslaparon los polígonos de conservación y de vegetación, ya que son factores que suman a la conservación de las serpientes de cascabel. A cada capa o elemento de una capa, se le asignó un valor dependiendo de la influencia que tuviera en la vulnerabilidad para la conservación (modificado del MER, SEMARNAT, 2010; Tabla 8). Se realizó la sumatoria de los valores asignados a cada capa vectorial y con base a los resultados se ponderaron las categorías de riesgo de cada especie presente en la península.

Tabla 8. Ponderación de los valores de vulnerabilidad para la conservación de las serpientes de cascabel

PONDERACIÓN CONSERVACIÓN	
USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	
VEGETACIÓN NATURAL	1 a 5
AGRÍCOLA	-1 a -3
URBANIZACIÓN	-1 a -3
CAMINOS	
CANTIDAD DE CAMINOS	-1 a -3
POLÍGONOS DE CONSERVACIÓN	
PRESENCIA	1 a 5
ANTROPIZACIÓN	
NO-LEVE	1
MODERADO	-1
FUERTEMENTE	-2
DISTRIBUCIÓN	
AMPLIA	3
MEDIA	2
RESTRINGIDA	1
MINERÍA	
PRESENCIA MINAS	-1 a -3

Rango	Vulnerabilidad
-10 a -4	Vulnerabilidad alta
-3 a 3	Vulnerabilidad media
4 a 10	Vulnerabilidad baja

Los MNE obtenidos fueron vectorizados, se les agregó un buffer y se suavizaron los polígonos para su manejo más sencillo. Posteriormente fueron traslapados para determinar las zonas en las que converge más de una especie. De igual manera se hizo una ponderación de valores para determinar las zonas que presentan mayor vulnerabilidad para la conservación. Esto es, aquellas zonas donde convergen más especies y donde se encuentre mayor cantidad de factores antrópicos que potencialmente afectan a las especies de serpientes de cascabel. En la Tabla 9 se observan las ponderaciones para determinar las zonas más vulnerables.

Tabla 9. Ponderación de valores para determinar zonas de riesgo para la conservación y rango establecido.

PONDERACIÓN CONSERVACIÓN	
USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	
AGRÍCOLA	1 a 3
URBANIZACIÓN	1 a 3
CAMINOS	
CANTIDAD DE CAMINOS	1 a 3
POLÍGONOS DE CONSERVACIÓN	
PRESENCIA	-1 a -3
MINERÍA	
PRESENCIA MINAS	1 a 3

Rango	Vulnerabilidad
1 a 3	Riesgo bajo
4 a 8	Riesgo medio
9 a 11	Riesgo alto

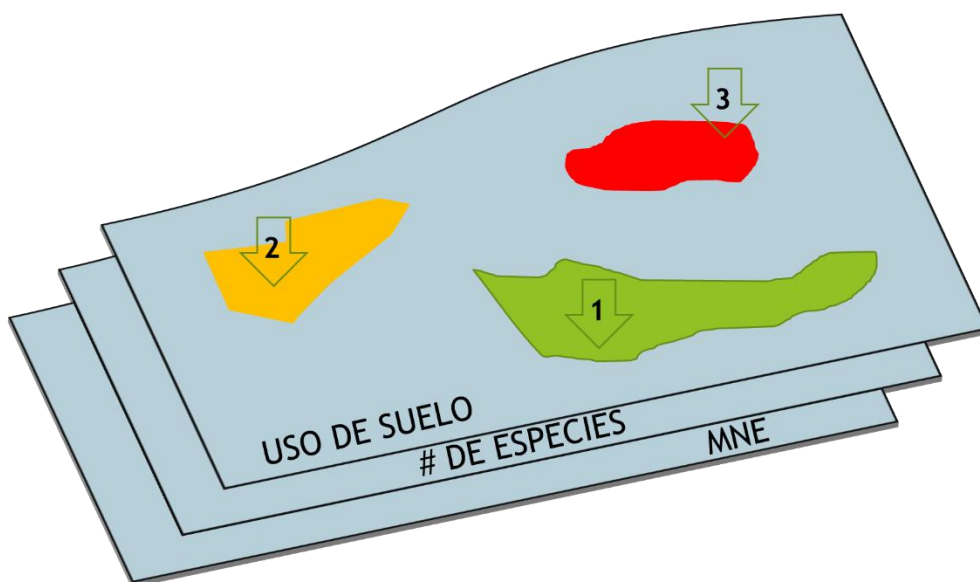


Figura 23. Traslape de capas vectoriales con MNE y ponderación de riesgo.

RESULTADOS

Panorama epidemiológico

De los boletines epidemiológicos (información federal), se obtuvieron un total de 837 registros (52 semanas por año, de 16 años) para los estados de Baja California (BC) y Baja California Sur (BCS), así como el total de México, desde el año 2003 hasta el 2018. En ese periodo se registraron un total de 273 casos de mordidas para Baja California y 268 para Baja California Sur, con un promedio de 17.06 y 16.75 casos anuales respectivamente. Este número representa el .46% y .45% del total de los casos en México. La tasa de casos de mordedura de serpiente venenosa, calculada por cada 100,000 habitantes fue de 7.62 (promedio .48) y 33.09 (promedio 2.07) respectivamente (Tabla 10). En Baja California el año con mayor número de mordidas fue el 2008 y 2018 con 26 casos, mientras que para Baja California Sur fueron los años 2003 y 2004 igual con 26 casos de accidente ofídico, caso contrario, los años con menor número de casos fueron el 2007 para BC, 2011 y 2012 para BCS con siete casos en los tres años (Figura 24).

Tabla 10. Total de accidentes ofídicos y tasa anual en BC, BCS y México

Año	Total BC	Tasa BC	Total BCS	Tasa BCS	Total Mx	Tasa Mx
2003	17	0.47	26	3.21	2666	2.22
2004	9	0.25	26	3.21	3229	2.69
2005	19	0.53	16	1.98	3515	2.93
2006	10	0.28	21	2.59	3701	3.09
2007	7	0.20	19	2.35	3351	2.79
2008	26	0.73	15	1.85	3797	3.17
2009	11	0.31	14	1.73	3725	3.11
2010	15	0.42	18	2.22	3449	2.88
2011	24	0.67	7	0.86	3535	2.95
2012	24	0.67	7	0.86	4225	3.52
2013	25	0.70	15	1.85	3961	3.30
2014	12	0.33	14	1.73	4430	3.69
2015	21	0.59	11	1.36	4378	3.65
2016	12	0.33	18	2.22	3790	3.16
2017	15	0.42	16	1.98	3700	3.08
2018	26	0.73	25	3.09	3726	3.11
TOTAL	273	7.62	268	33.09	59178	49.34
Promedio	17.06	0.48	16.75	2.07	3,698.63	3.08
Población	3,584,605		809,833		119,938,473	

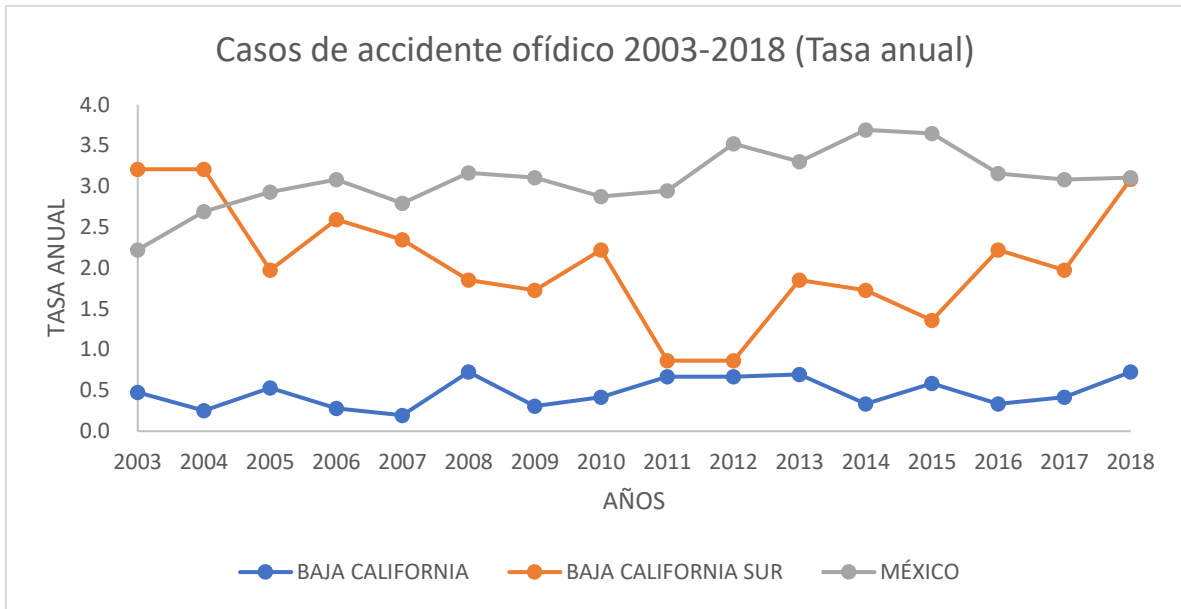


Figura 24. Tasa anual de accidentes ofídicos en BC, BCS y México.

Se calculó el promedio semanal de los 16 años y se graficó para observar la temporalidad de los accidentes ofídicos. La mayoría de los casos tuvieron lugar entre las semanas 18 y 42 que corresponderían a mayo y octubre aproximadamente. Se puede observar que Baja California tiene un promedio mayor en los primeros meses, mientras que Baja California Sur presenta un promedio mayor en septiembre y octubre (Figura 25).

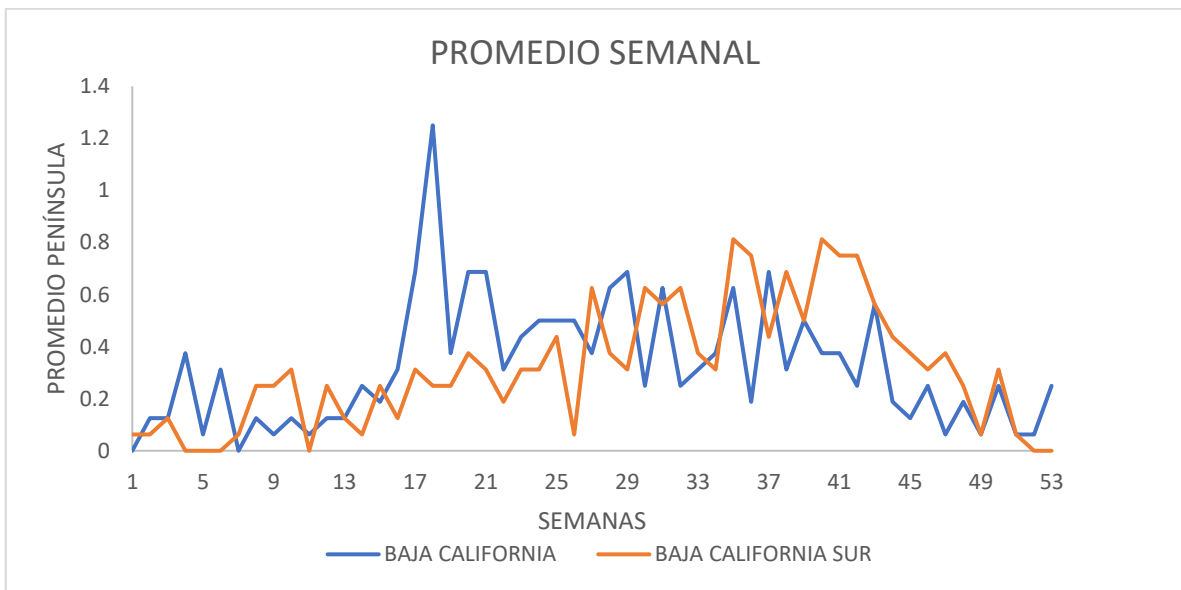


Figura 25. Promedio semanal de accidentes ofídicos.

Del total de los casos en ambos estados, 374 (69%) corresponden a hombres y 167 (31%) corresponden a mujeres (Figura 26). El año con más accidentes ofídicos en hombres fue el 2018 con 39 casos y el 2004 y 2012 para mujeres con 15 casos. Caso contrario el año con menos accidentes ofídicos en hombres fue el 2007 con 13 casos; en mujeres fueron los años 2005 y 2016 con 4 años. El año 2007 fue el único donde hubo el mismo número de casos para ambos sexos (Figura 27).

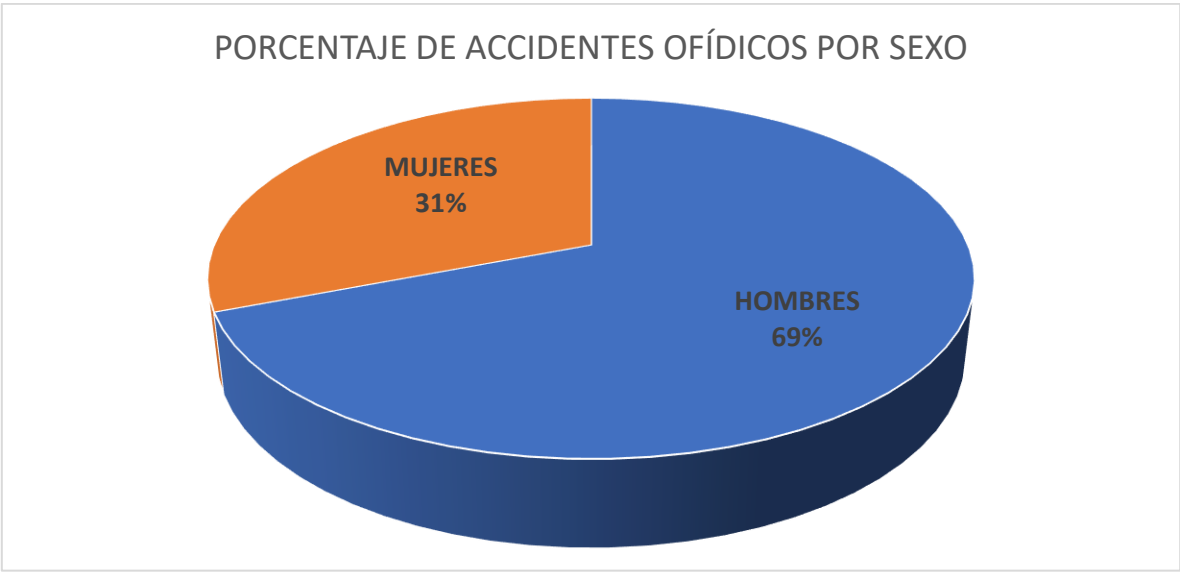


Figura 26. Relación de accidentes ofídicos por sexos.

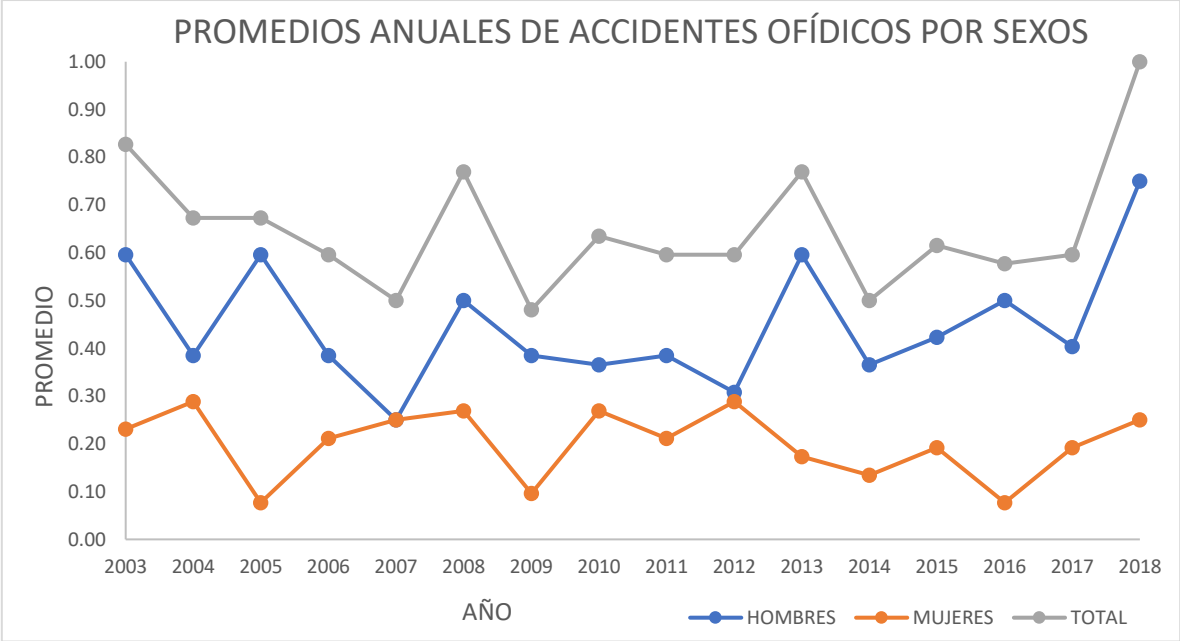


Figura 27. Promedios anuales de accidentes ofídicos por sexos.

Con los datos obtenidos con las instancias estatales para Baja California (Tabla 11) también se calcularon las tasas de incidencia anual en el mismo periodo 2003-2018. La menor tasa se obtuvo en la jurisdicción II, que corresponde a los municipios de Tijuana, Tecate y Playas del Rosarito con un valor de 3.71 casos/100,000 habitantes, mientras que la tasa más grande se presentó en la jurisdicción IV, que corresponde a la parte sur del municipio de Ensenada, con un valor de 42.3 casos/100,000 habitantes. La jurisdicción que tiene la mayor tasa de incidencia no es la que presenta el mayor número de casos ni viceversa (Tabla 12; Figura 30).

Tabla 11. Casos y tasa de accidentes ofídicos por jurisdicción en Baja California

Municipio	Jurisdicción	Casos	Población	Tasa
Mexicali	I	90	1,052,656	8.55
Tijuana	II	74	1,996,588	3.71
Ensenada	III	75	426,626	17.58
V. Guerrero	IV	46	108,735	42.30

Tabla 12. Casos y tasa de incidencia anual de accidentes ofídicos en Baja California

Año	Mexicali	Tasa I	Tijuana	Tasa II	Ensenada	Tasa III	V. Guerrero	Tasa IV	Total	Tasa
2003	2	0.19	5	0.25	5	1.17	2	1.84	14	0.39
2004	3	0.28	0	0	4	0.94	3	2.76	10	0.28
2005	5	0.47	2	0.10	12	2.81	4	3.68	23	0.64
2006	3	0.28	0	0	7	1.64	1	0.92	11	0.31
2007	2	0.19	2	0.10	2	0.47	2	1.84	8	0.22
2008	12	1.14	9	0.45	3	0.70	0	0	24	0.67
2009	8	0.76	2	0.10	1	0.23	1	0.92	12	0.33
2010	7	0.66	3	0.15	5	1.17	2	1.84	17	0.47
2011	4	0.38	14	0.70	4	0.94	4	3.68	26	0.73
2012	8	0.76	3	0.15	5	1.17	8	7.36	24	0.67
2013	7	0.66	4	0.20	10	2.34	4	3.68	25	0.70
2014	4	0.38	6	0.30	2	0.47	1	0.92	13	0.36
2015	7	0.66	5	0.25	6	1.41	6	5.52	24	0.67
2016	4	0.38	7	0.35	1	0.23	1	0.92	13	0.36
2017	6	0.57	7	0.35	2	0.47	0	0	15	0.42
2018	8	0.76	5	0.25	6	1.41	7	6.44	26	0.73
TOTAL	90	8.55	74	3.71	75	17.58	46	42.30	285	7.95

Se observó que hay una discrepancia de 12 (4.2%) registros en el total de casos de accidente ofídico reportados en las instancias estatales (285) contra el registro federal (273), coincidiendo solamente en los años 2013, 2017 y 2018 (Figura 28).

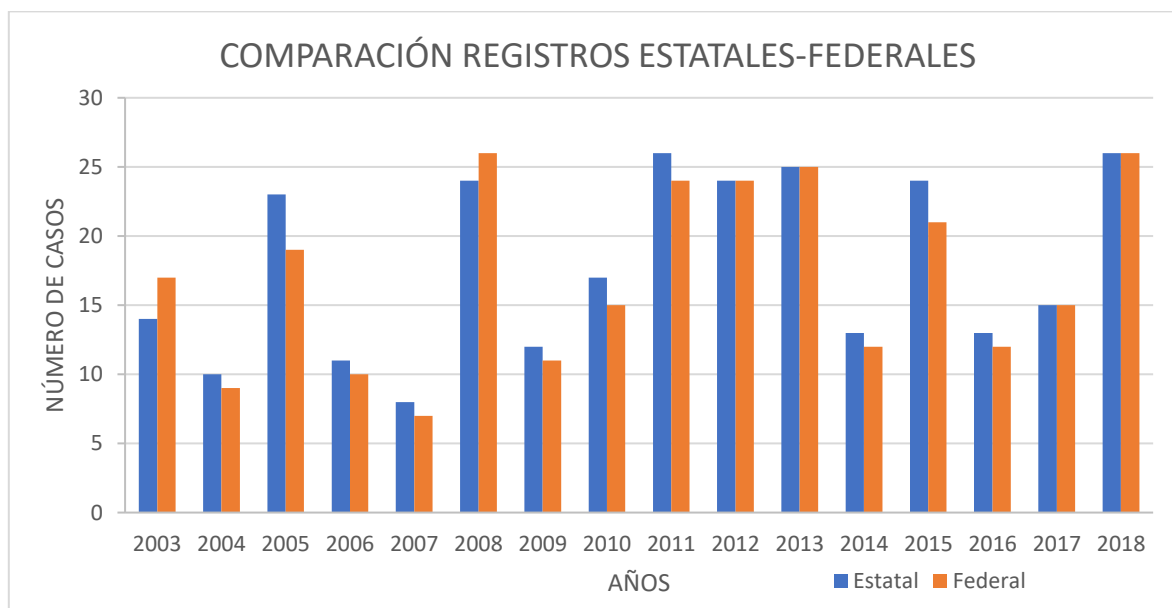


Figura 28. Comparación de registros de accidentes ofídicos estatales y federales.

Los datos obtenidos en la Secretaria de Salud en Baja California Sur solamente abarcaron los años 2003-2005 y 2012-2016 cubriendo un periodo total de ocho años. Además es importante mencionar que no hay registros de mordeduras de serpientes venenosas en el municipio de Loreto. En los periodos mencionados hubo un total de 132 casos de accidente ofídico, siendo Comondú el municipio con mayor número de casos y tasa de incidencia, mientras que Mulegé presentó el menor número de casos y Los Cabos la menor tasa de incidencia, sin contar la falta de registros en Loreto (Tabla 13; Figura 30).

Tabla 13. Casos y tasa de accidentes ofídicos por municipio en Baja California Sur

Municipio	Casos	Población	Tasa
Comondú	45	83268	54.04
La Paz	41	305454	13.42
Loreto	0	22415	0
Los Cabos	30	328247	9.14
Mulegé	16	70449	22.71

Tabla 14. Casos y tasas de accidentes ofídicos anuales por municipio en Baja California Sur

Año	Comondú	Tasa	Mulegé	Tasa	La Paz	Tasa	Los Cabos	Tasa	Total	Tasa
2003	11	13.21	2	2.84	10	3.27	4	1.22	27	3.33
2004	11	13.21	1	1.42	11	3.60	3	0.91	26	3.21
2005	2	2.40	0	0	1	0.33	2	0.61	5	0.62
2012	4	4.80	5	7.10	3	0.98	2	0.61	14	1.73
2013	4	4.80	3	4.26	2	0.65	7	2.13	16	1.98
2014	6	7.21	0	0	7	2.29	3	0.91	16	1.98
2015	3	3.60	1	1.42	2	0.65	4	1.22	10	1.23
2016	4	4.80	4	5.68	5	1.64	5	1.52	18	2.22
TOTAL	45	54.04	16	22.71	41	13.42	30	9.14	132	16.30

De igual manera se hizo una comparación del total de los casos registrados para los años tanto a nivel estatal (132) como a nivel federal (131) y se encontró una discrepancia de un solo caso en el periodo de años reportados. El número de registros coincidió solamente en los años 2004 y 2016 (Figura 29).

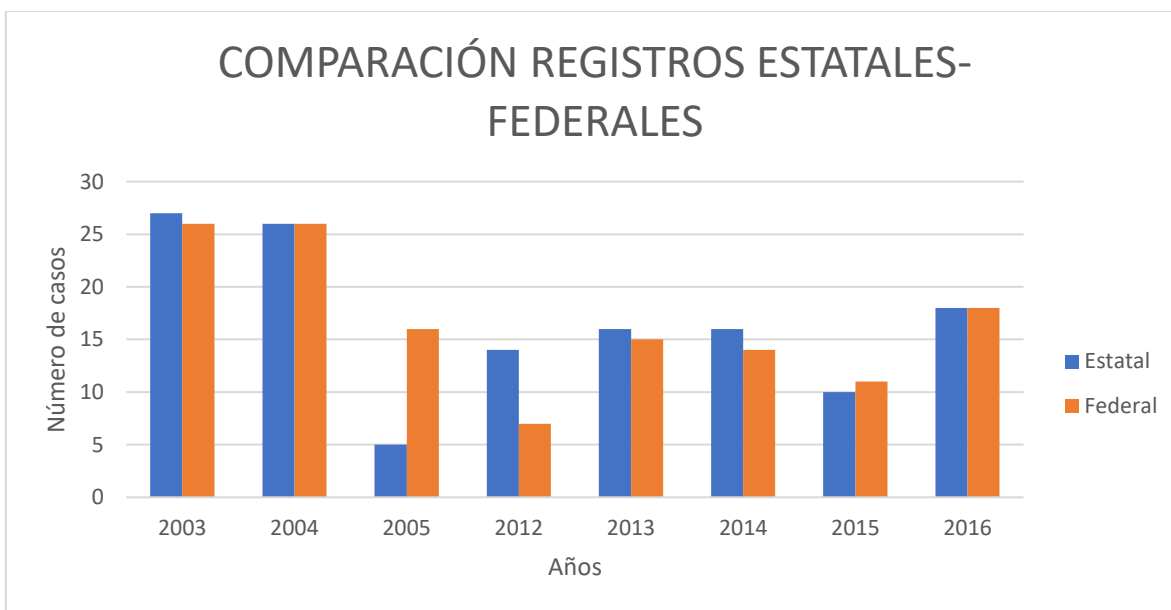


Figura 29. Comparativo de registros anuales estatales y federales.

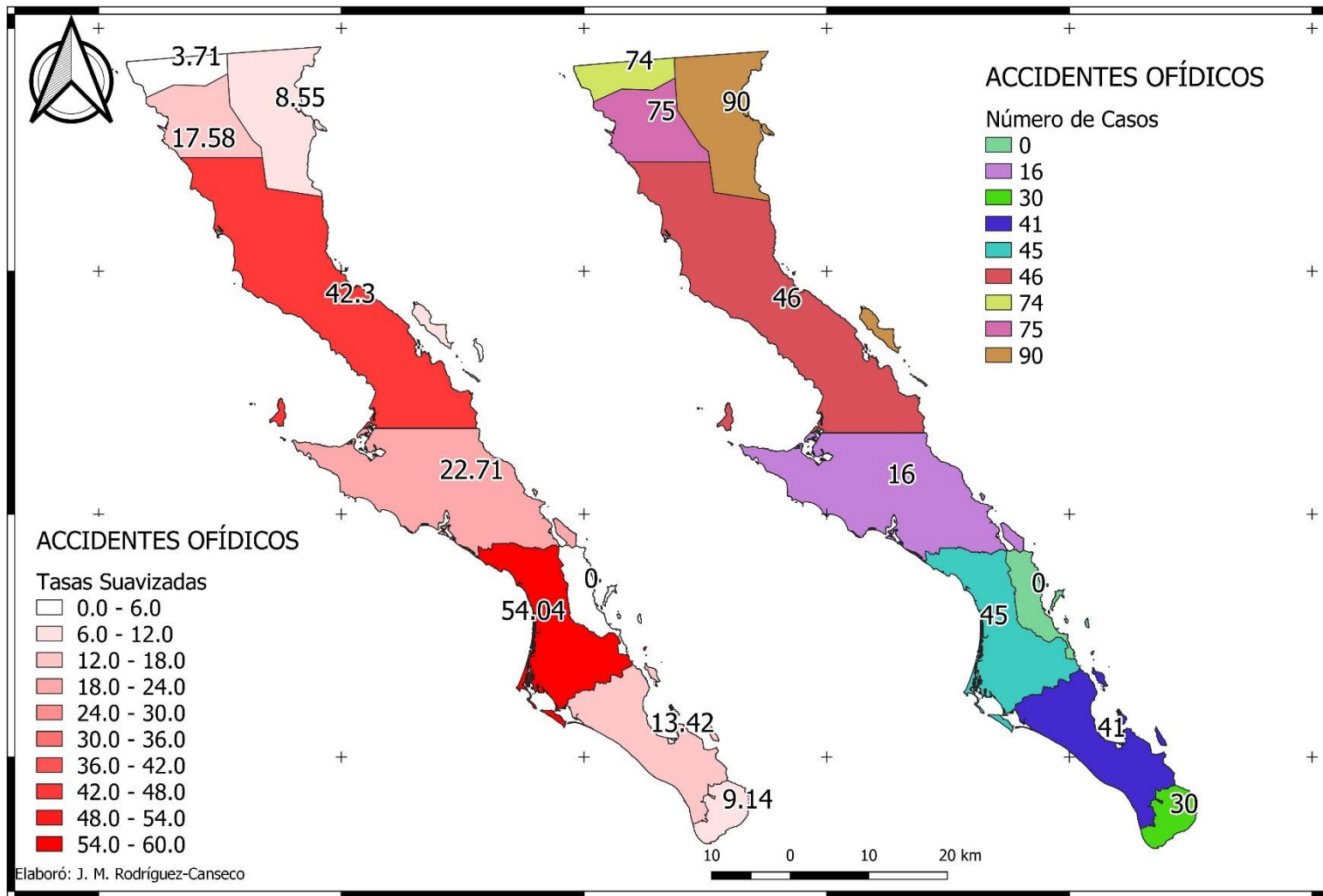


Figura 30. Casos y tasas suavizadas de accidentes ofídicos en la península de Baja California.

Modelos de nicho ecológico

Se modeló la idoneidad de sitio para las seis especies de serpientes de cascabel presentes en la península de Baja California. La especie que se modeló con mayor número de registros es *Crotalus ruber* con 129 registros de presencia, mientras que *Crotalus atrox* se modeló con solamente cuatro registros de presencia, por lo que su modelo podría no ser válido. El modelo que tuvo una validación con el área bajo la curva (AUC) es *Crotalus cerastes* con .94 por lo mencionado arriba respecto a *C. atrox*. El modelo con menor validación fue *C. ruber* con .71. El número de registros de cada especie así como las variables seleccionadas para cada modelo y el valor de validación se encuentran en la Tabla 15.

Tabla 15. Registros, variables y validaciones de los modelos de *Crotalus* de la península

Especie	Registros	Variables	AUC
<i>Crotalus atrox</i>	4	BIO_7	0.95
<i>Crotalus enyo</i>	71	BIO_1, BIO_4, BIO_7, BIO_15	0.77
<i>Crotalus cerastes</i>	16	BIO_03, BIO_04, BIO_10	0.94
<i>Crotalus mitchellii</i>	62	BIO_1, BIO_4, BIO_7, BIO_12, BIO_15	0.79
<i>Crotalus oreganus</i>	45	BIO_1, BIO_12, BIO_15	0.83
<i>Crotalus ruber</i>	129	BIO_2, BIO_3, BIO_7, BIO_15	0.71

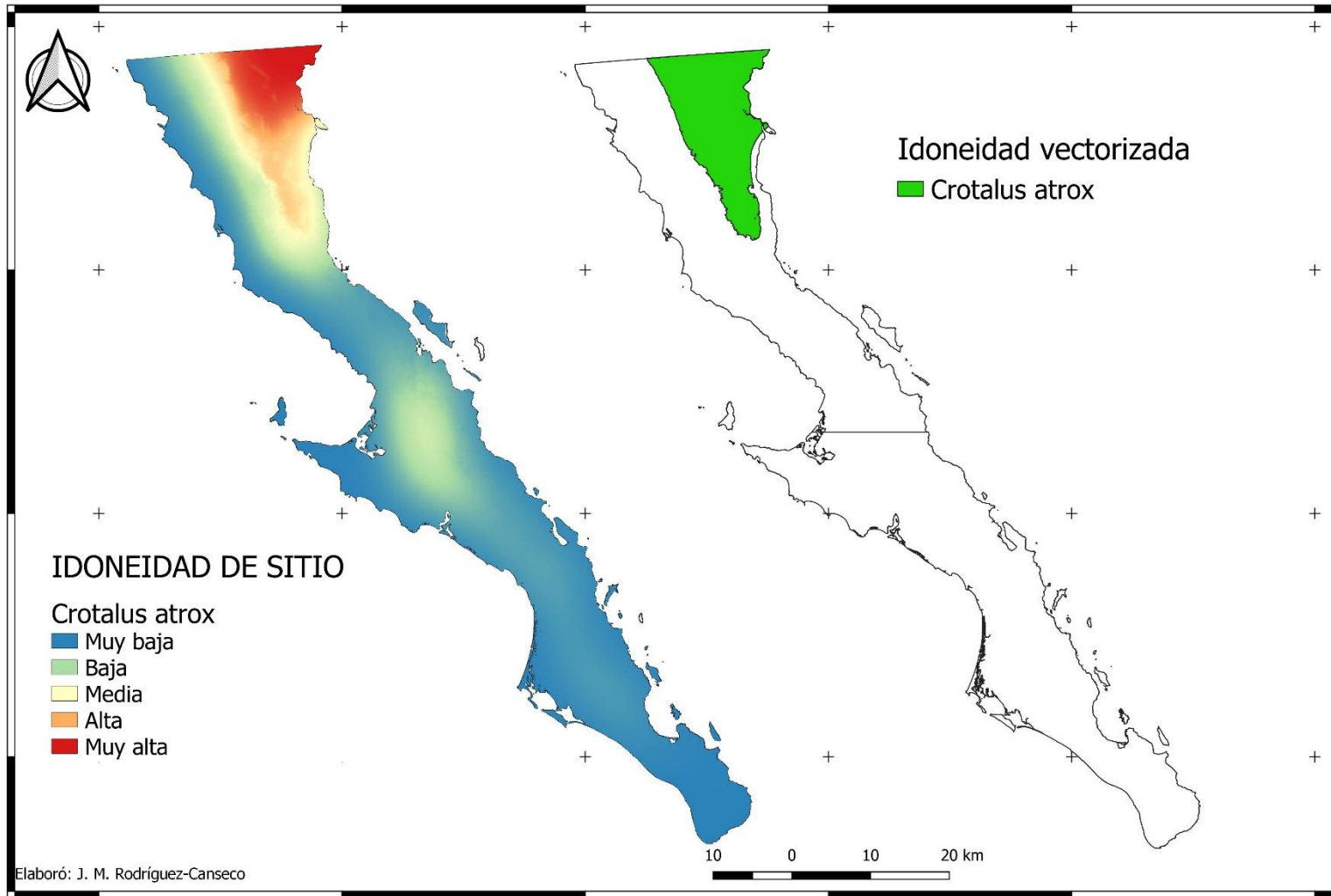


Figura 31. Izquierda- Idoneidad de sitio de *Crotalus atrox*. El color rojo representa la zona donde las condiciones son mejores para la especie. Derecha- Idoneidad media-muy alta vectorizada.

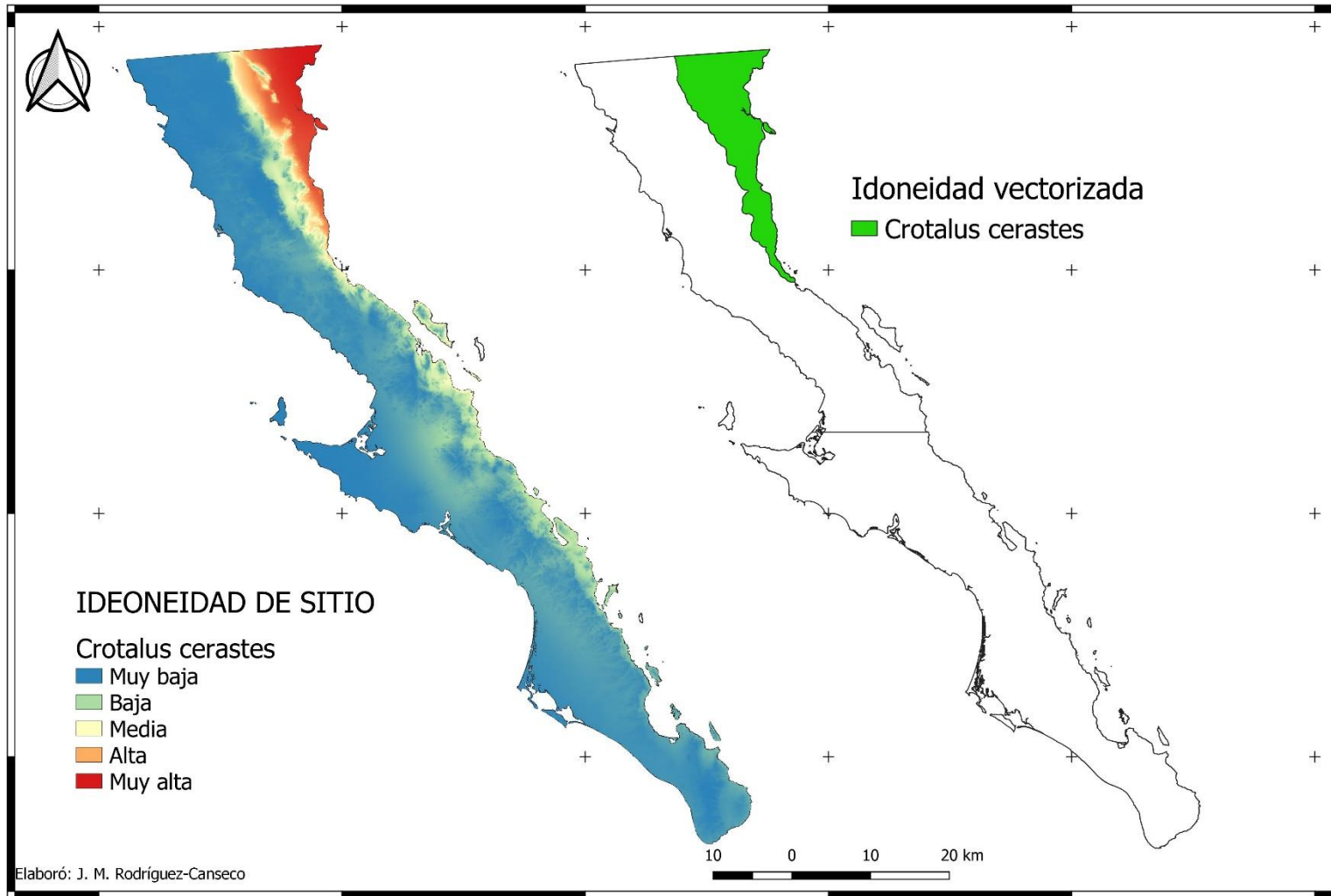


Figura 32. Izquierda- Idoneidad de sitio de *Crotalus cerastes*. El color rojo representa la zona donde las condiciones son mejores para la especie. Derecha- Idoneidad media-muy alta vectorizada.

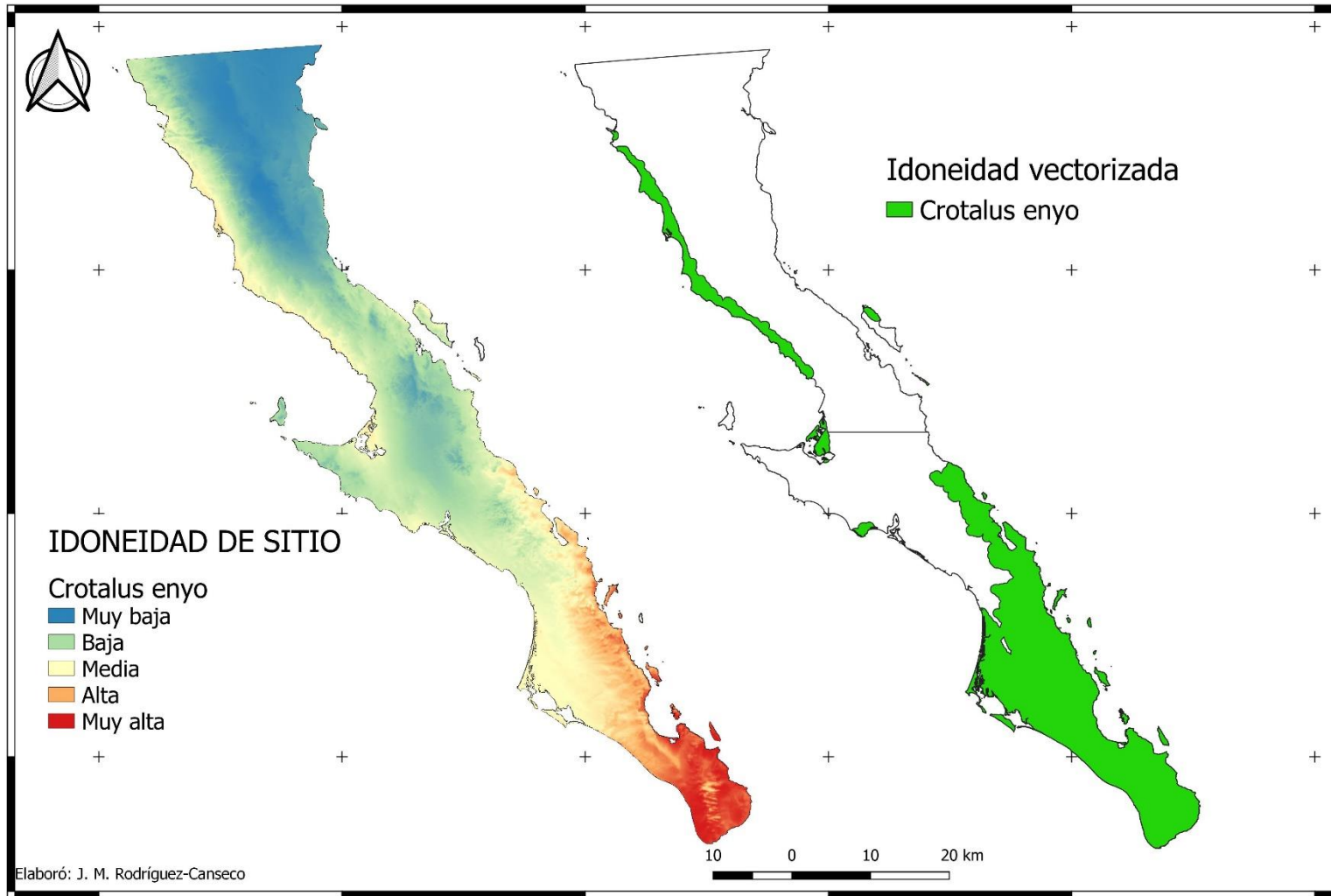


Figura 33. Izquierda- Idoneidad de sitio de *Crotalus enyo*. El color rojo representa la zona donde las condiciones son mejores para la especie. Derecha- Idoneidad media-muy alta vectorizada.

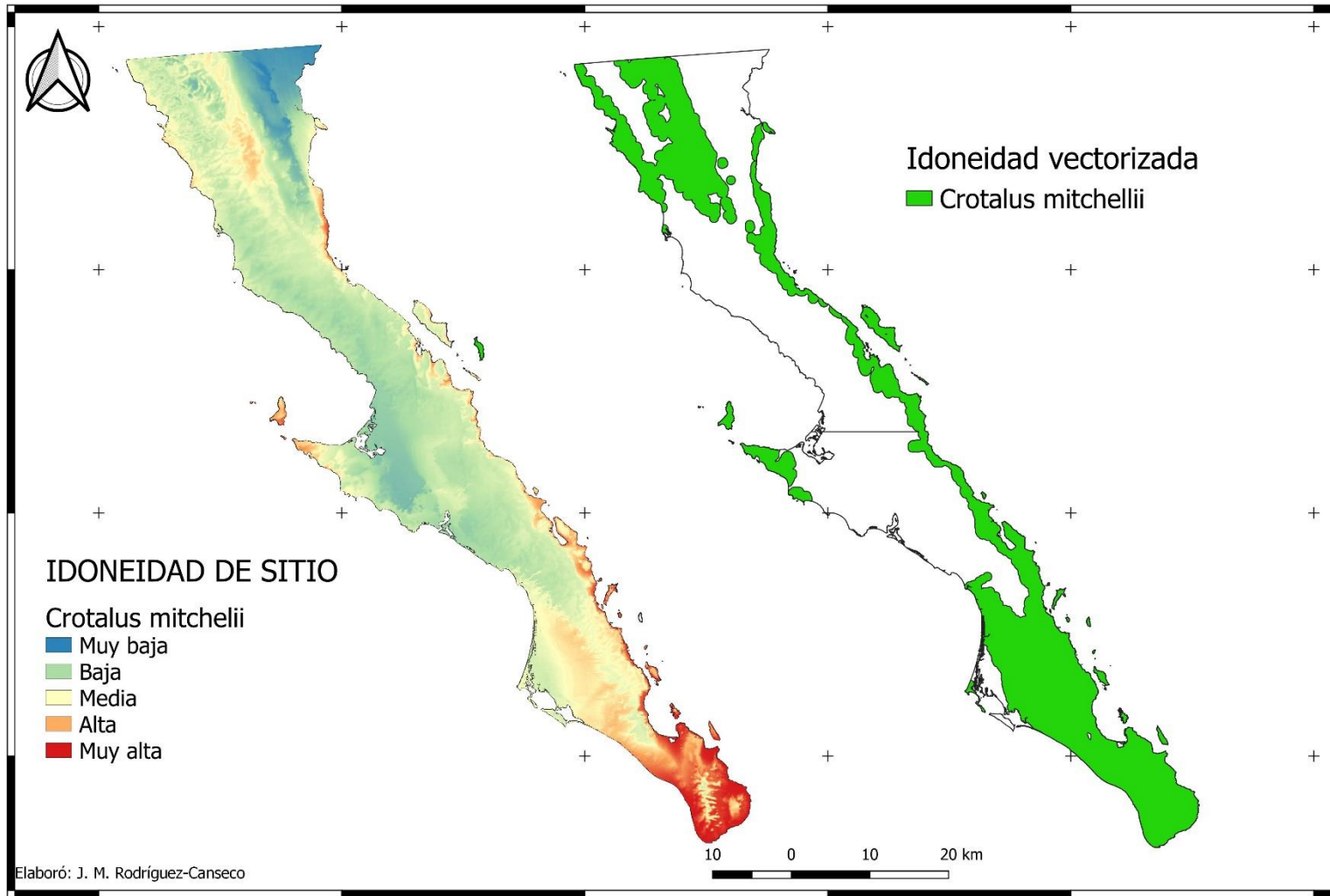


Figura 34. Izquierda- Idoneidad de sitio de *Crotalus mitchellii*. El color rojo representa la zona donde las condiciones son mejores para la especie. Derecha- Idoneidad media-muy alta vectorizada.

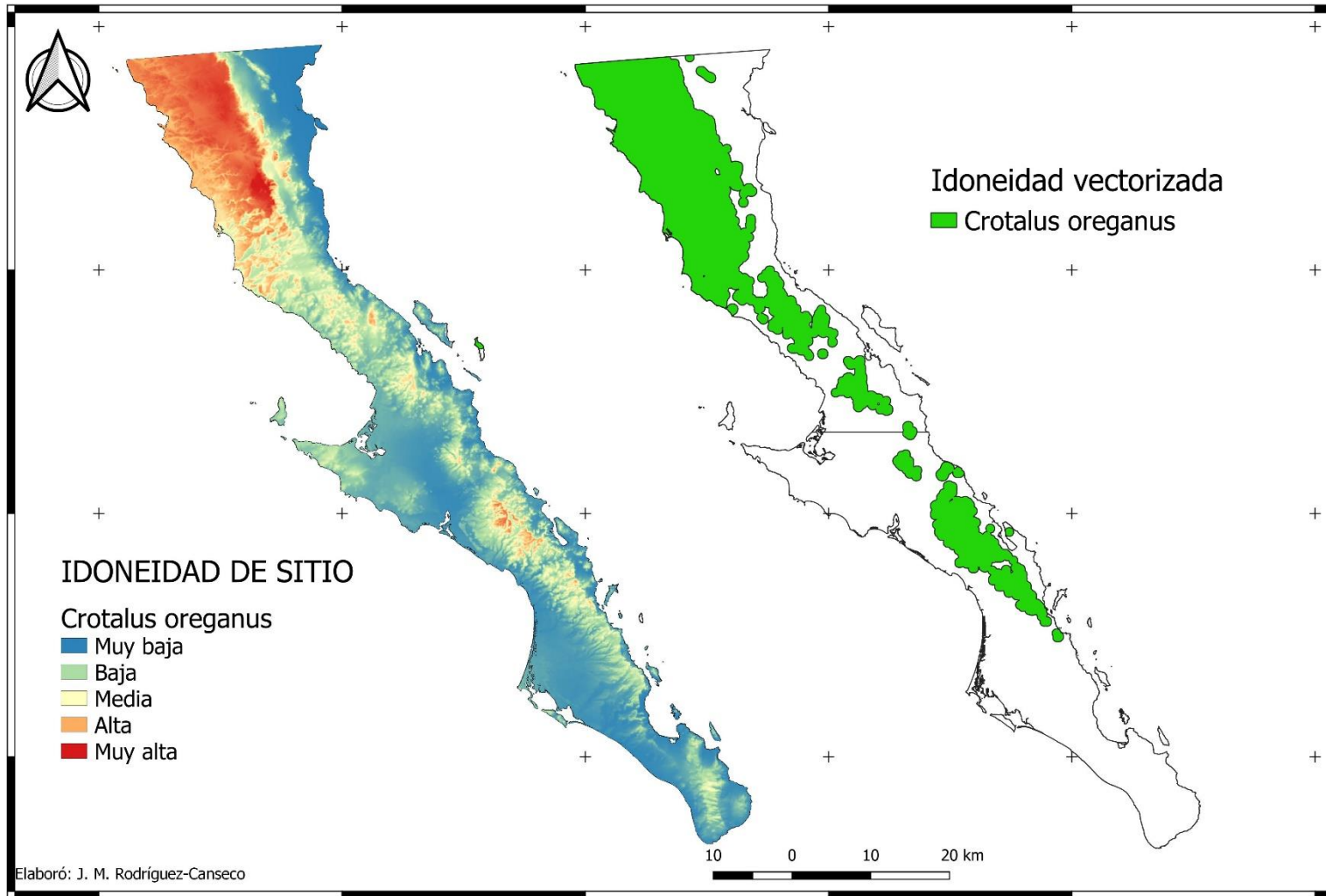


Figura 35. Izquierda- Idoneidad de sitio de *Crotalus oreganus*. El color rojo representa la zona donde las condiciones son mejores para la especie. Derecha- Idoneidad media-muy alta vectorizada.

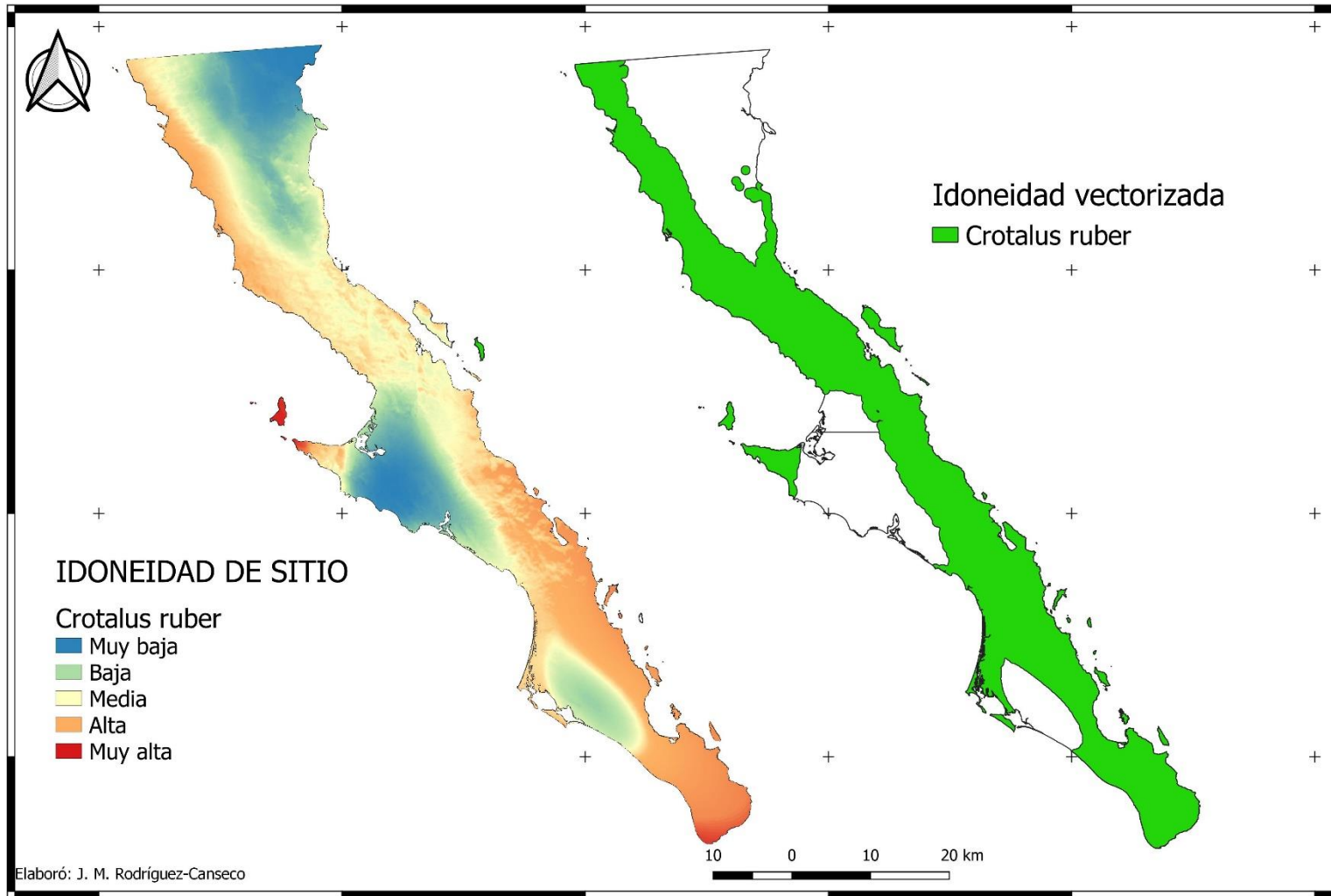


Figura 36. Izquierda- Idoneidad de sitio de *Crotalus ruber*. El color rojo representa la zona donde las condiciones son mejores para la especie. Derecha- Idoneidad media-muy alta vectorizada.

Delimitación de zonas de riesgo a accidente ofídico

Al traslapar los vectores de la idoneidad de sitio de las especies de serpiente de cascabel, se delimitaron nueve zonas a lo largo de la península donde convergían dos o más especies. La zona en blanco o con cero especies no es una zona sin registros de serpientes, los modelos no arrojaron idoneidad de sitio en esa zona (Figura 37). Al traslapar las capas de factores antrópicos y asignarles valores, se obtuvieron cuatro zonas de Riesgo Alto, tres de Riesgo Medio y dos de Riesgo Bajo (Figura 38). En la Figura 39 se observa la coincidencia de la cantidad de accidentes ofídicos con las zonas delimitadas por vulnerabilidad por factores antrópicos. Después de agregar los puntos de centros de salud y los estimados de tiempo de recorrido, se obtuvo un mapa final donde solo una zona es de Riesgo Alto ante accidente ofídico y ocho de Riesgo Medio (Figura 40). En la Tabla 16 se muestran los valores asignados a cada zona de acuerdo a la ponderación establecida, así como los rangos de riesgo.

Tabla 16. Valores asignados a cada zona de acuerdo a las capas traslapadas y rango establecido.

REGIÓN	# SPP	AGRÍCOLA	URB/RUR	TURISMO	SUM ANTRÓPICO	ACCESO CS	DISTANCIA CS	SUM FINAL
1	0	4	2	3	9	2	3	14
2	2	4	3	4	13	0	0	13
3	2	4	2	3	11	2	2	15
4	2	0	2	3	7	2	3	12
5	3	4	3	4	14	0	0	14
6	3	2	2	3	10	2	3	15
7	3	4	3	4	14	0	1	15
8	4	4	3	4	15	0	1	16
9	4	3	2	1	10	1	3	14

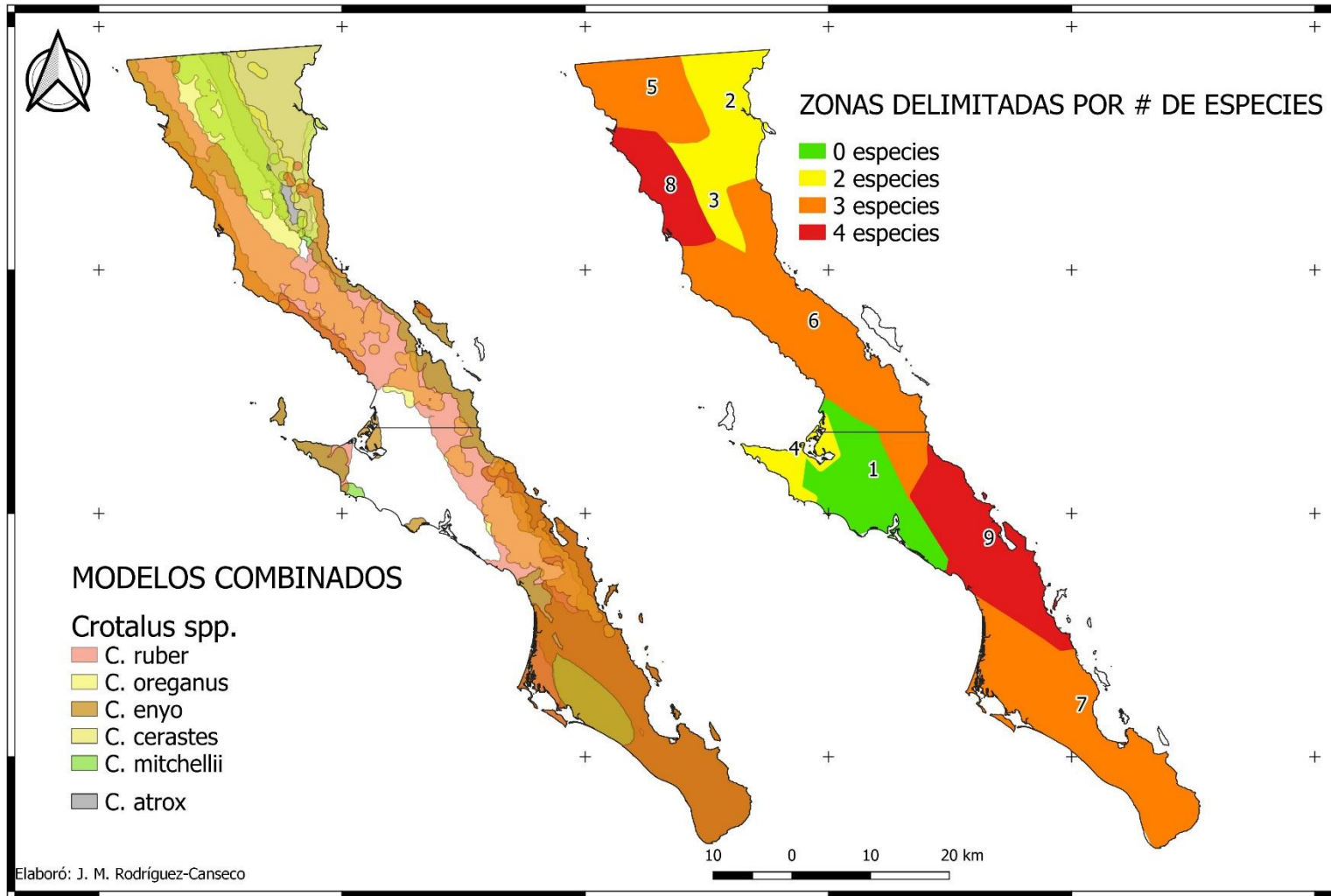


Figura 37. Izquierda- Traslape de modelos vectorizados. Derecha- Delimitación de zonas donde convergen al menos dos especies.

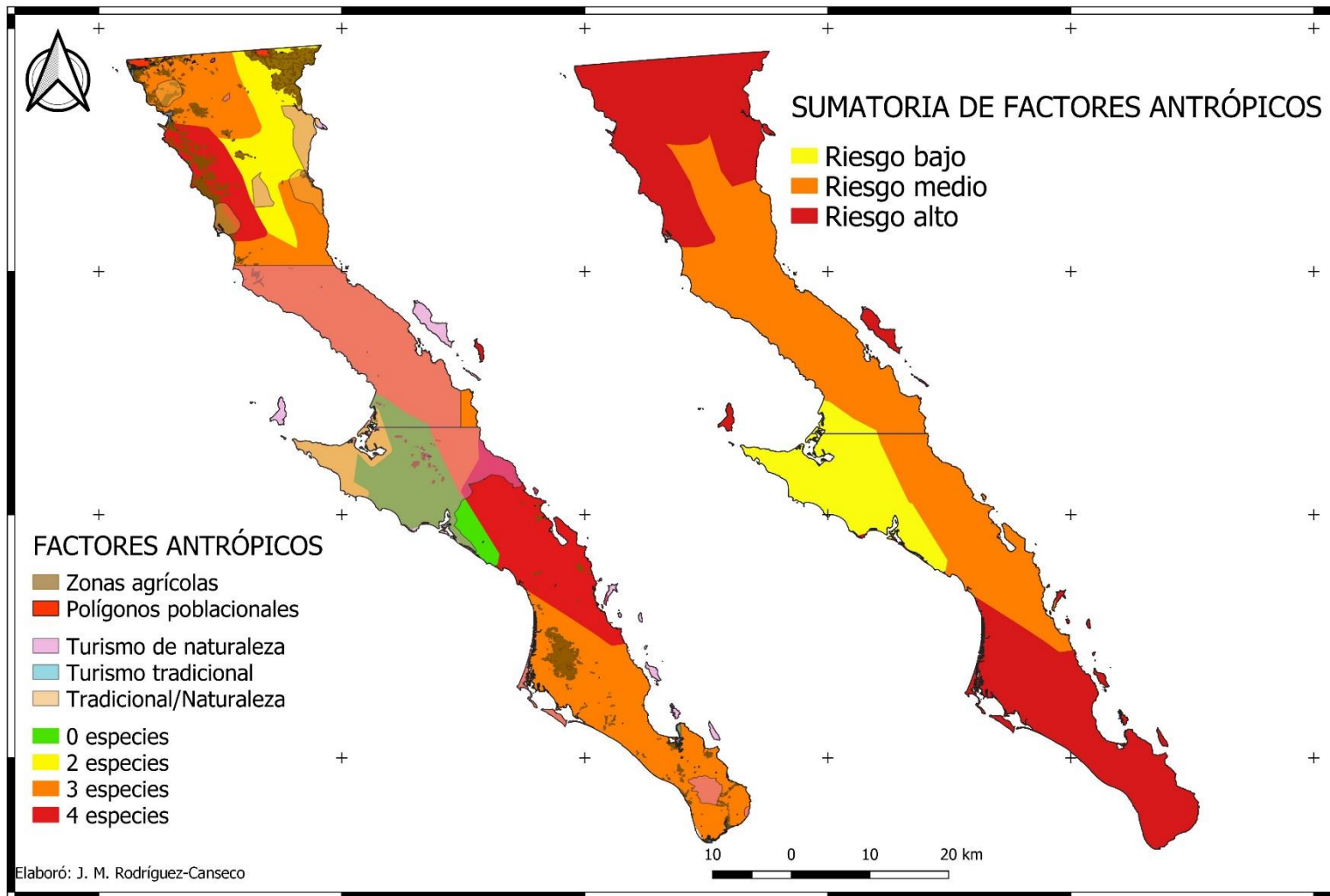


Figura 38. Izquierda- Traslape de capas sobre factores antrópicos que generan vulnerabilidad. Derecha- Delimitación de zonas de riesgo por factores antrópicos.

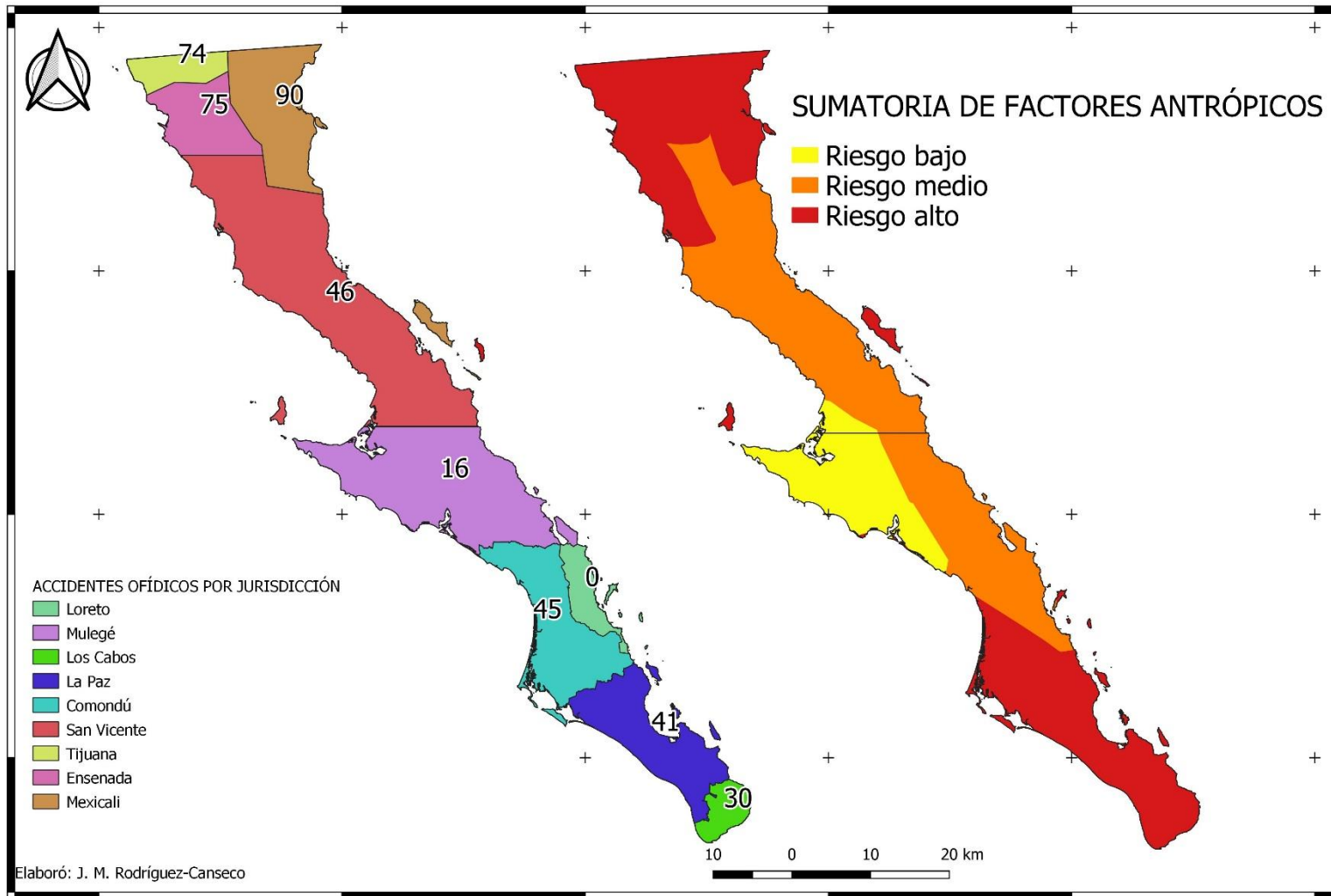


Figura 39. Comparación de zonas de vulnerabilidad definidas en este estudio (derecha) con los accidentes ofídicos en cada jurisdicción.

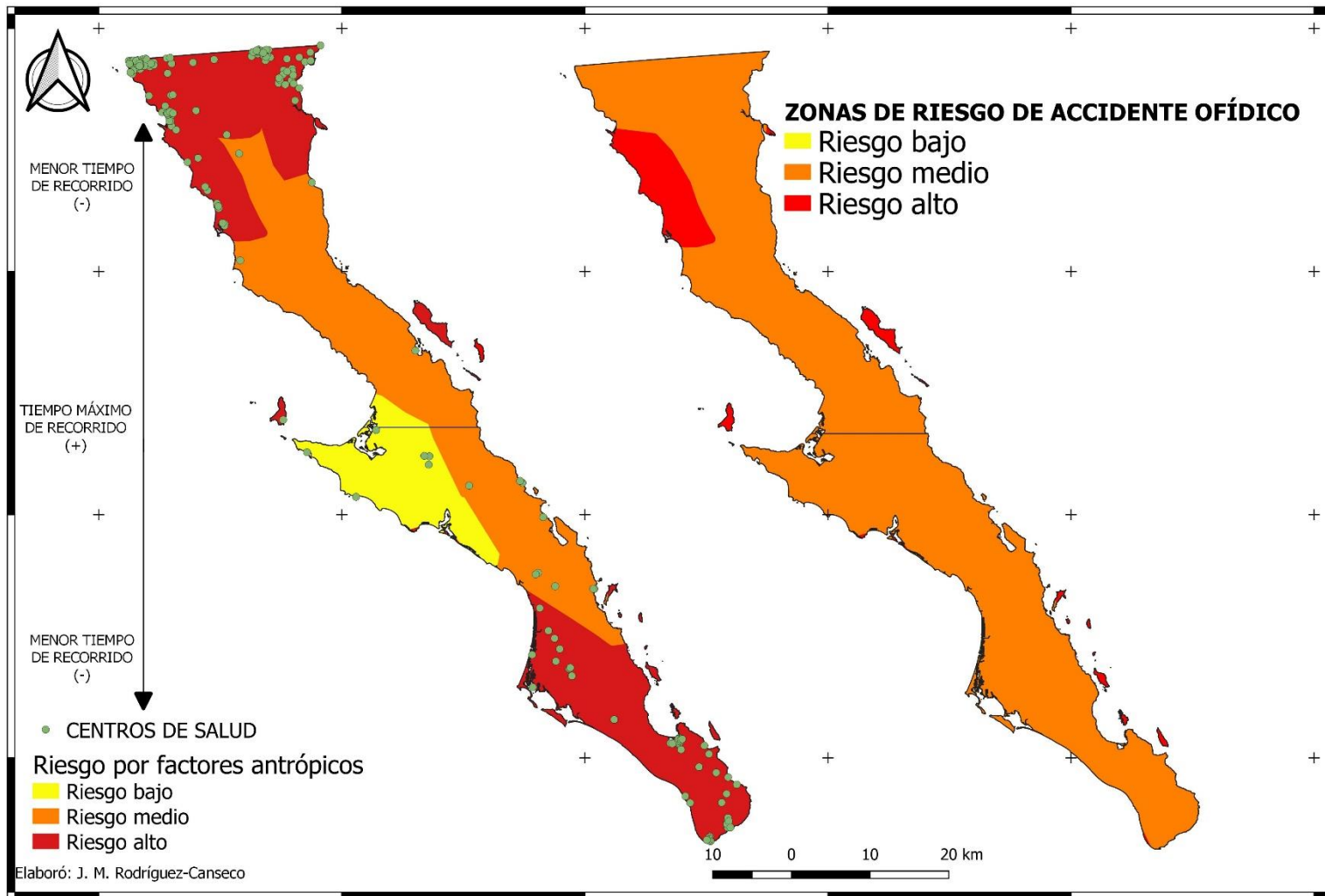


Figura 40. Izquierda- Traslape de capa de centros de salud y estimación de los tiempos de recorrido, tomando como la zona más lejana el centro de la península, con el tiempo máximo de recorrido, que va disminuyendo conforme se acerca hacia el norte o hacia el sur . Derecha- Mapa final de vulnerabilidad ante accidentes ofídicos en la península

Vulnerabilidad y zonas de riesgo para la conservación

En cuanto a las categorías de riesgo/vulnerabilidad de cada especie se determinó que las seis especies presentes en la península se encuentran en una categoría de vulnerabilidad media, siendo *Crotalus atrox*, *C. cerastes* y *C. oreganus* las que presentaron valores más bajos, mientras que *C. mitchellii* y *C. ruber* presentaron los niveles más altos (Tabla 17). En los Figuras 41-52 se muestran las superposiciones de las capas de factores que contribuyen a la conservación, así como de las amenazas de cada especie.

Tabla 17. Valores asignados por capa a cada especie presente en la península.

ESPECIE	URBANO	AGRÍCOLA	VEG. NAT.	CAMINOS	ANTR.	POL. CONS.	MINERÍA	DIST.	SUMATORIA
<i>C. atrox</i>	-3	-3	4	-1	-1	2	-1	1	-2
<i>C. cerastes</i>	-3	-3	4	-1	-1	3	-1	1	-1
<i>C. enyo</i>	-2	-1	4	-2	-2	3	-1	2	1
<i>C. mitchellii</i>	-1	-2	4	-2	-1	4	-2	3	3
<i>C. oreganus</i>	-3	-3	4	-1	-1	4	-3	2	-1
<i>C. ruber</i>	-2	-2	4	-1	-1	4	-2	3	3

Así mismo se estimó la vulnerabilidad de acuerdo a los factores antrópicos por cada zona previamente delimitada por número de especies. Se determinó que cuatro zonas presentan vulnerabilidad baja, dos Vulnerabilidad media y tres Vulnerabilidad alta para la conservación de serpientes (Tabla 18). En la Figura 53 se ilustra la regionalización de vulnerabilidad a lo largo de la península.

Tabla 18. Valores asignados a cada zona de convergencia de especies, por presencia de factores antrópicos.

REGIÓN	AGRÍCOLA	URB/RUR	CAMINOS	POL. CONS	MINERÍA	SUM FINAL
1	1	1	1	-3	1	1
2	3	3	3	-2	2	9
3	1	1	1	-3	2	2
4	1	1	1	-3	2	2
5	3	3	3	-1	2	10
6	1	1	1	-2	2	3
7	2	2	2	-2	1	5
8	3	3	3	-1	3	11
9	1	1	2	-2	1	5

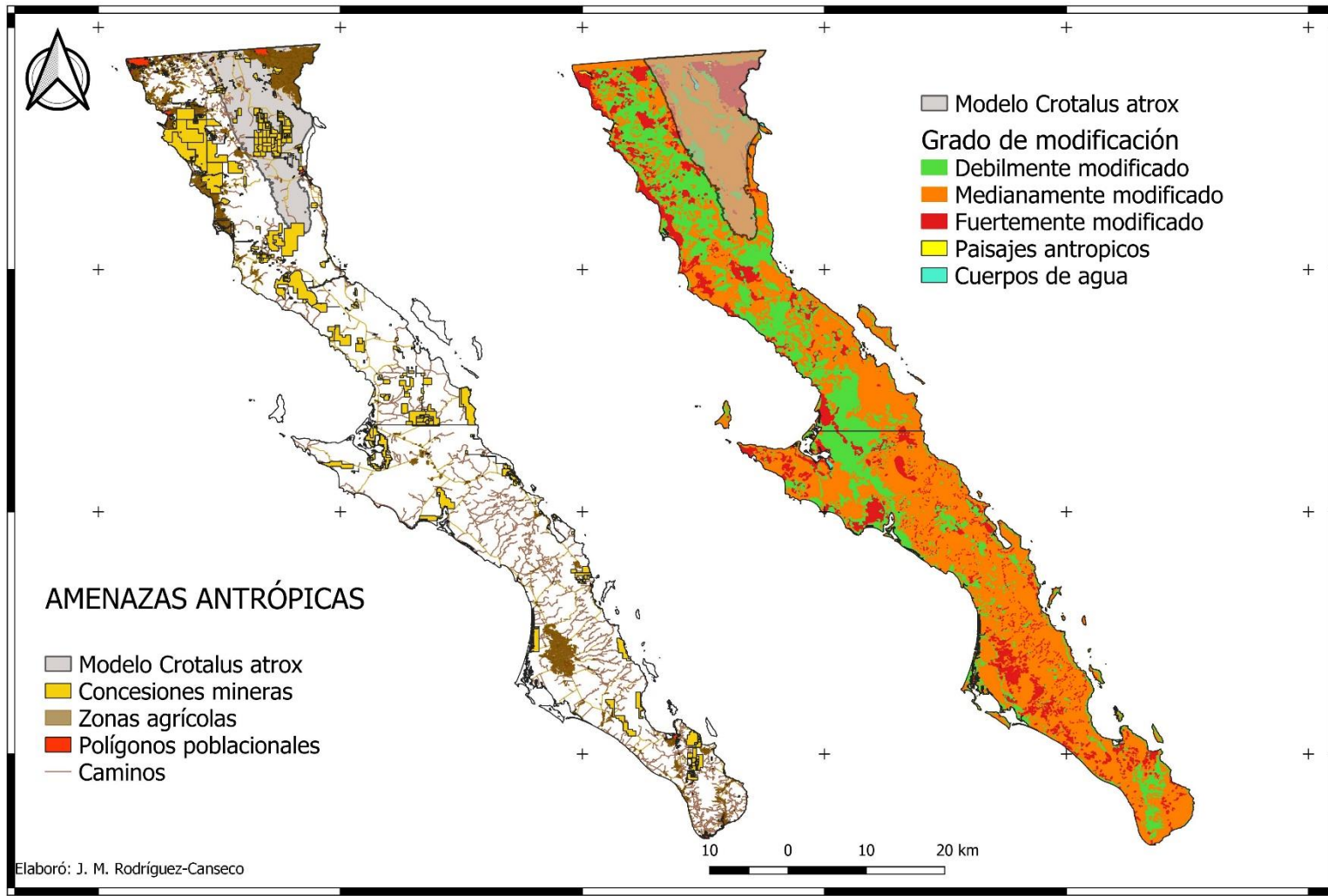


Figura 41. Izquierda- Factores antrópicos que afectan a Crotalus atrox. Derecha- Grado de antropización en la idoneidad de sitio de Crotalus atrox.

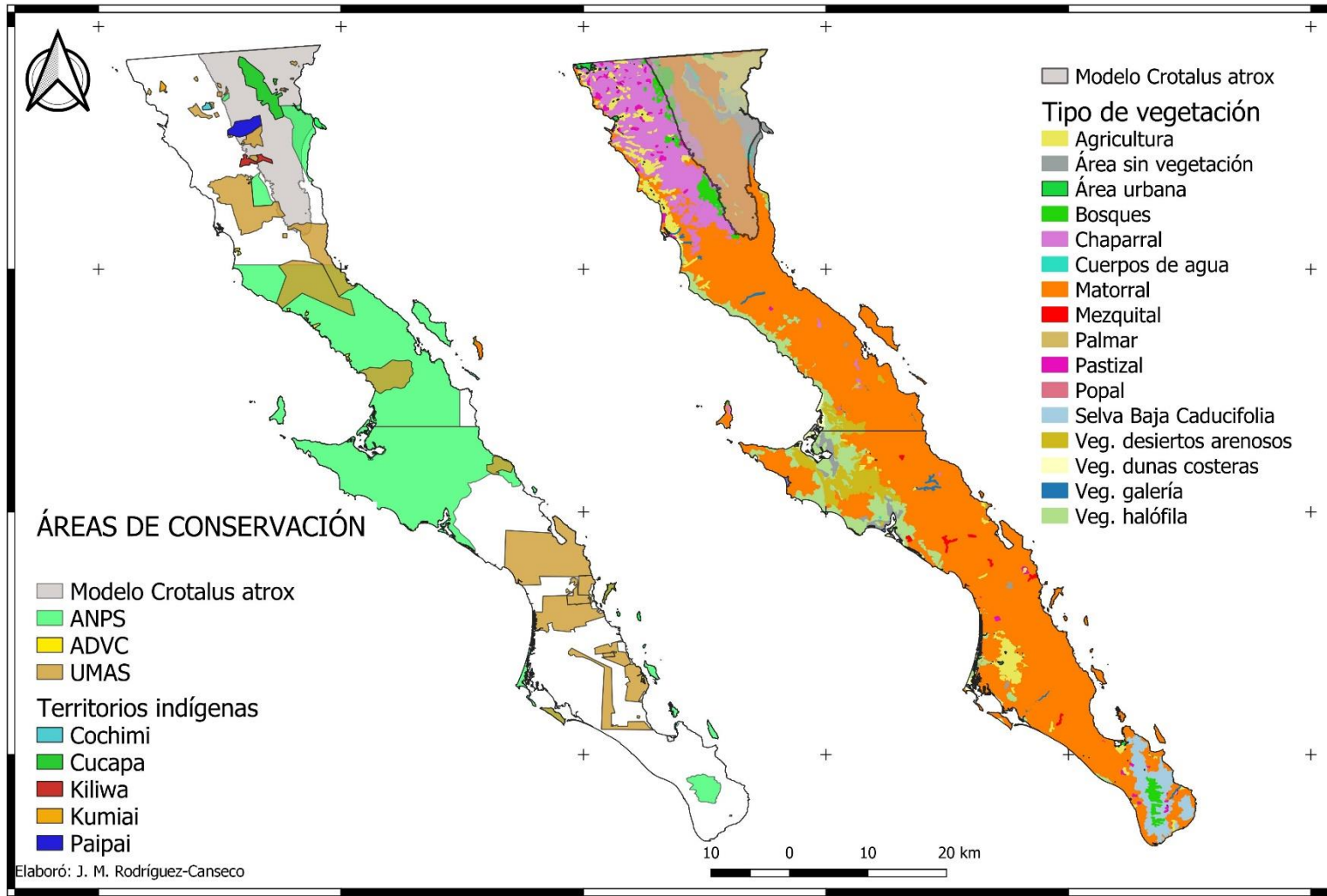


Figura 42. Izquierda- Modelo de *Crotalus atrox* en polígonos de conservación. Derecha- Vegetación en modelo *Crotalus atrox*.

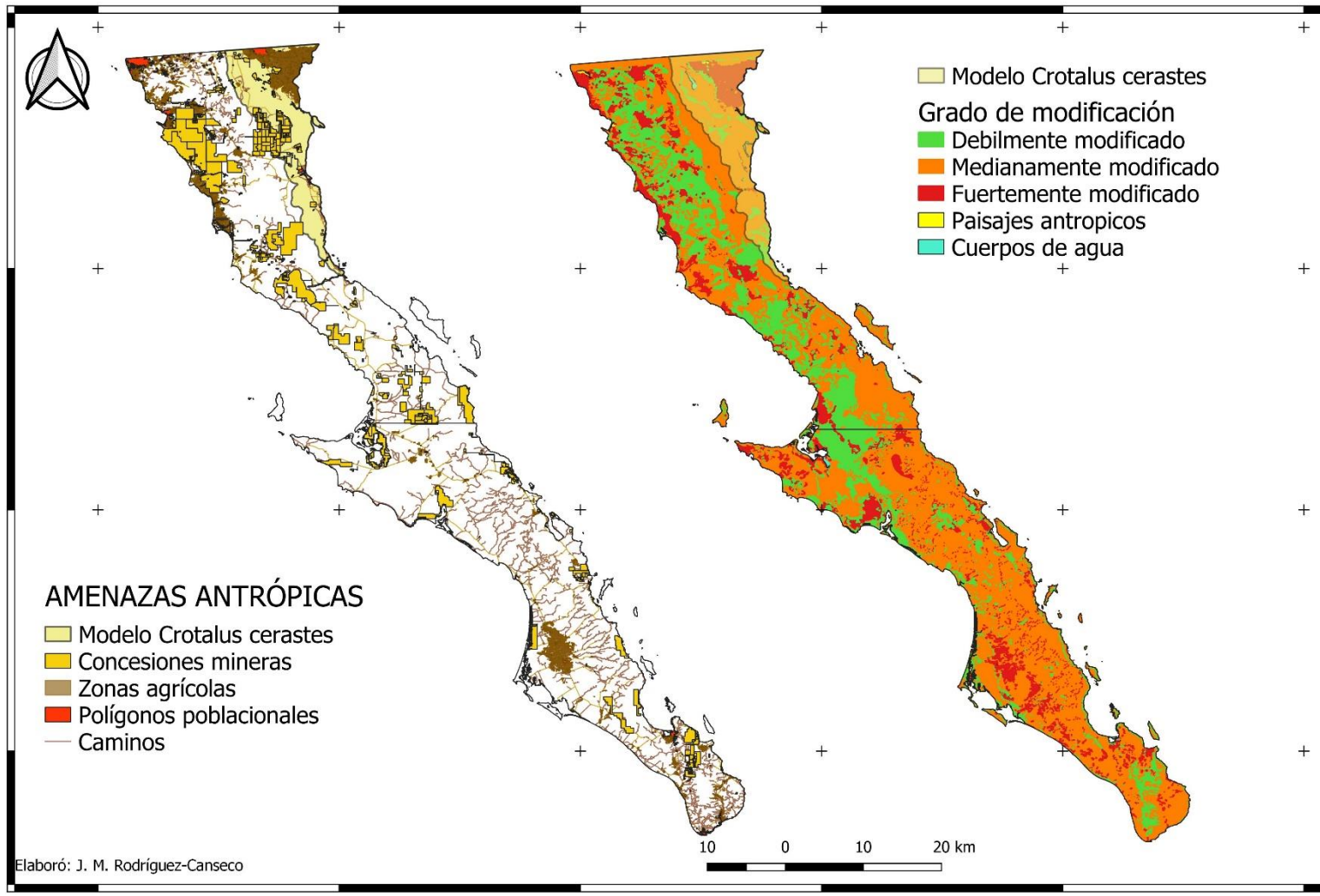


Figura 43. Izquierda- Factores antrópicos que afectan a *Crotalus cerastes*. Derecha- Grado de antropización en la idoneidad de sitio de *Crotalus cerastes*.

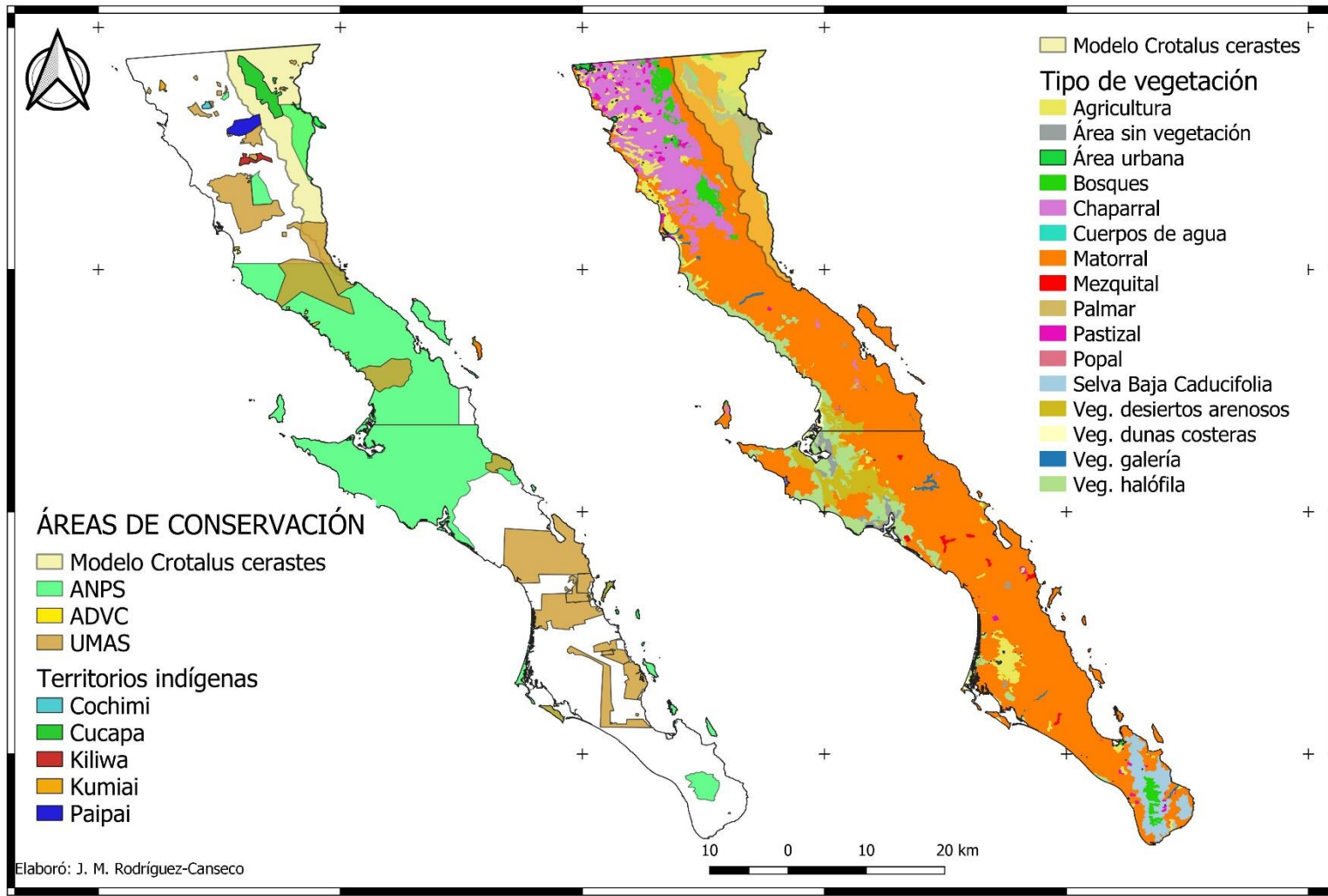


Figura 44. Izquierda- Modelo de *Crotalus cerastes* en polígonos de conservación. Derecha- Vegetación en modelo *Crotalus cerastes*.

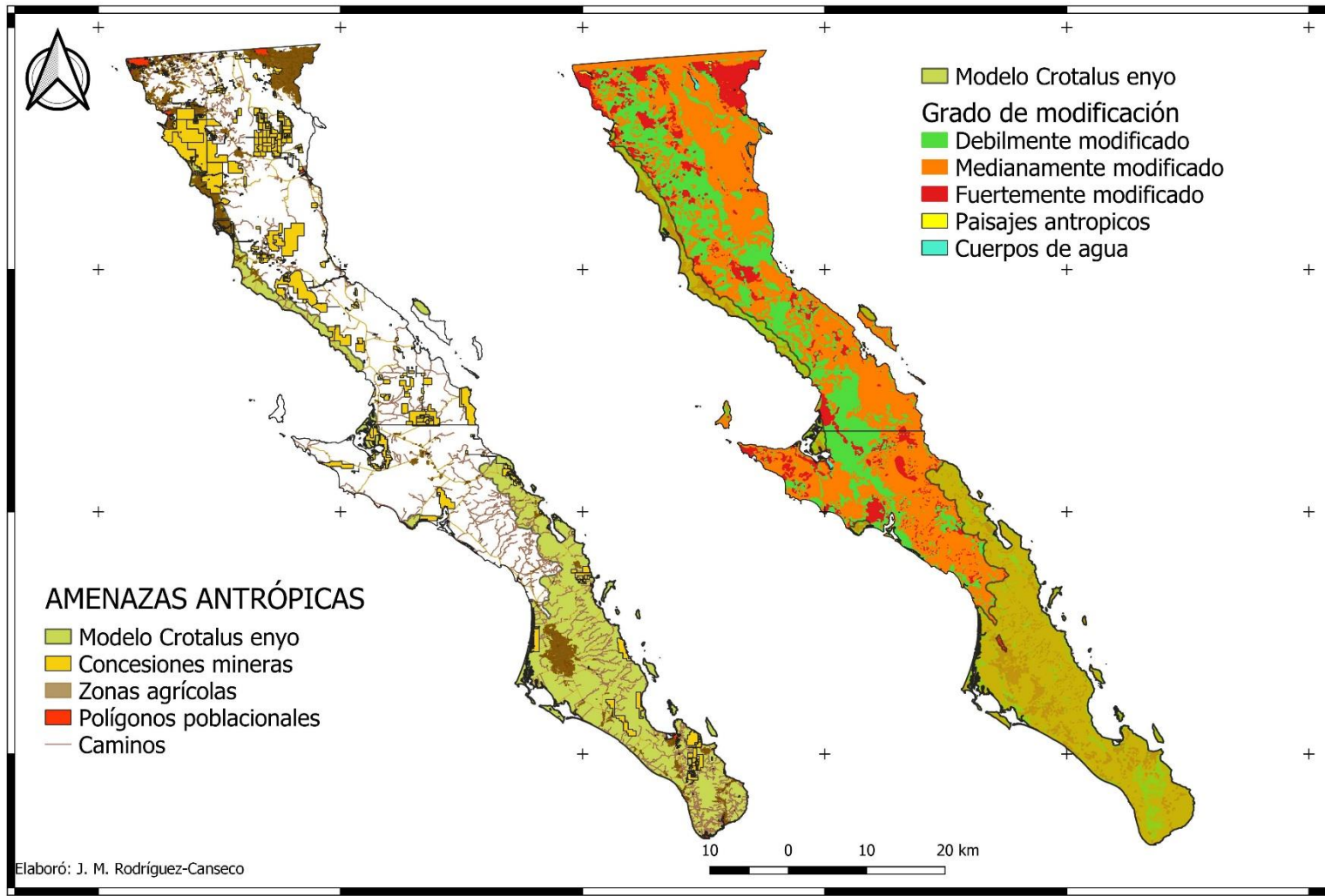


Figura 45. Izquierda- Factores antrópicos que afectan a Crotalus enyo. Derecha- Grado de antropización en la idoneidad de sitio de Crotalus enyo.

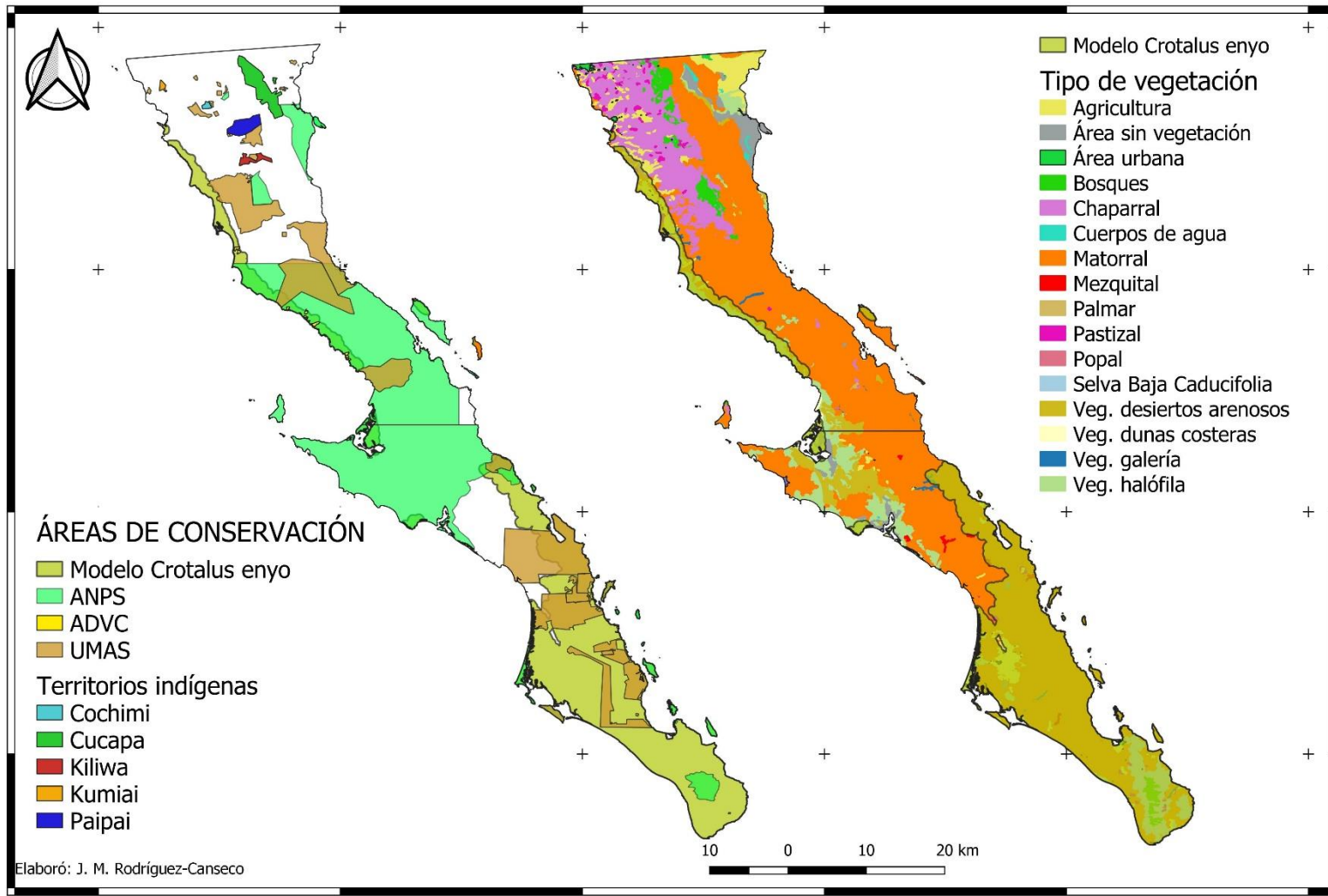


Figura 46. Izquierda- Modelo de *Crotalus enyo* en polígonos de conservación. Derecha- Vegetación en modelo *Crotalus enyo*.

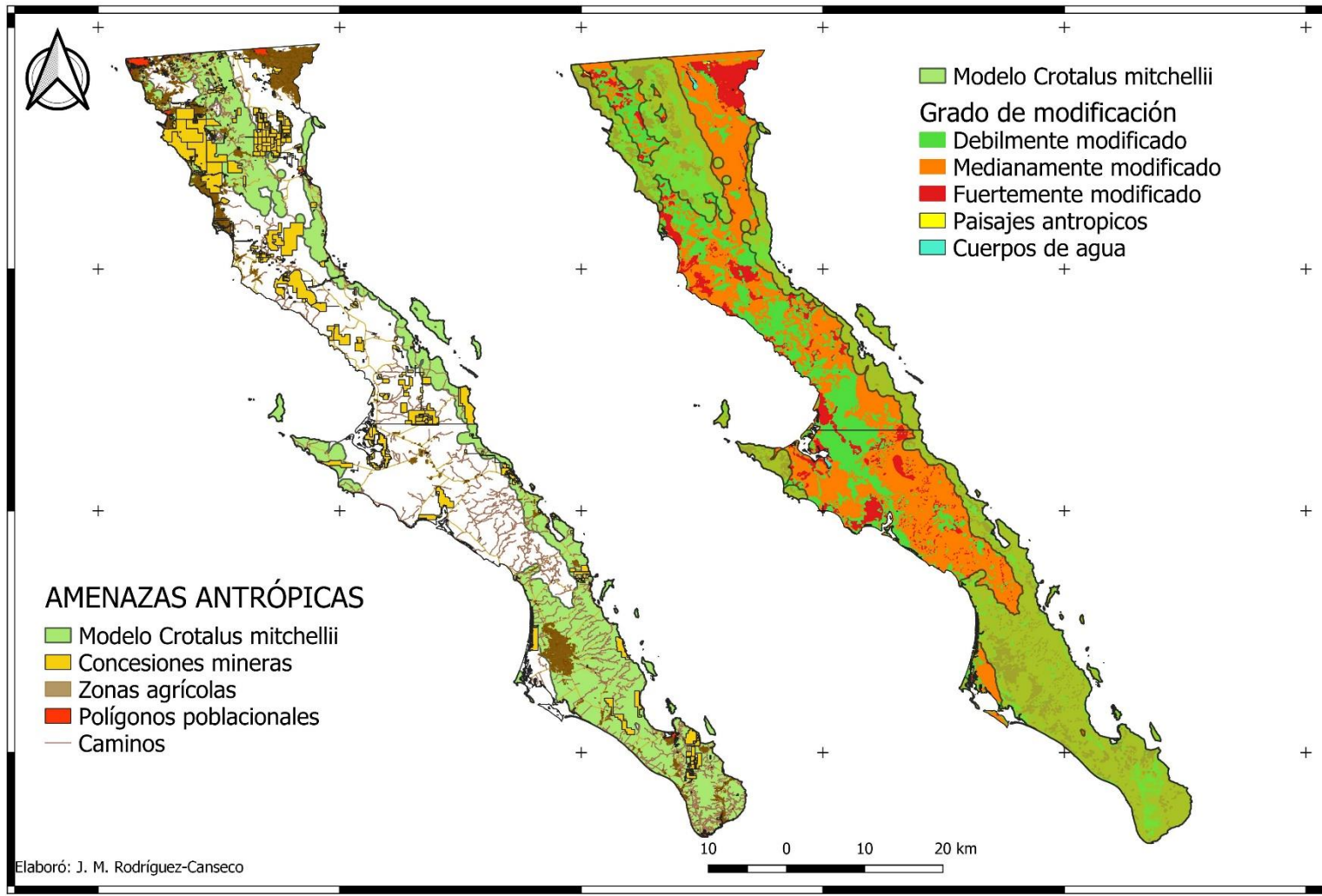


Figura 47. Izquierda- Factores antrópicos que afectan a *Crotalus mitchellii*. Derecha- Grado de antropización en la idoneidad de sitio de *Crotalus mitchellii*.

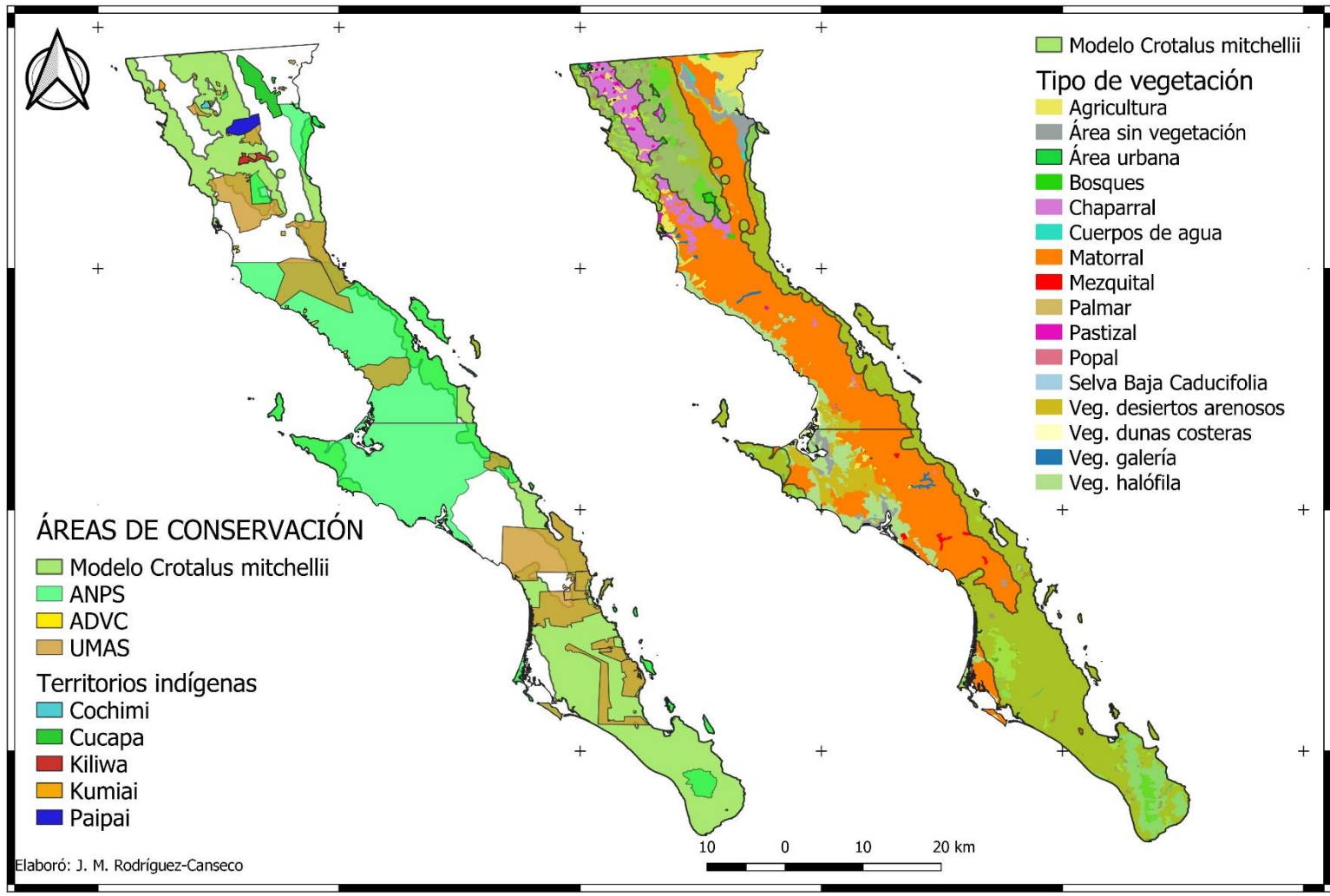


Figura 48. Izquierda- Modelo de *Crotalus mitchellii* en polígonos de conservación. Derecha- Vegetación en modelo *Crotalus mitchellii*.

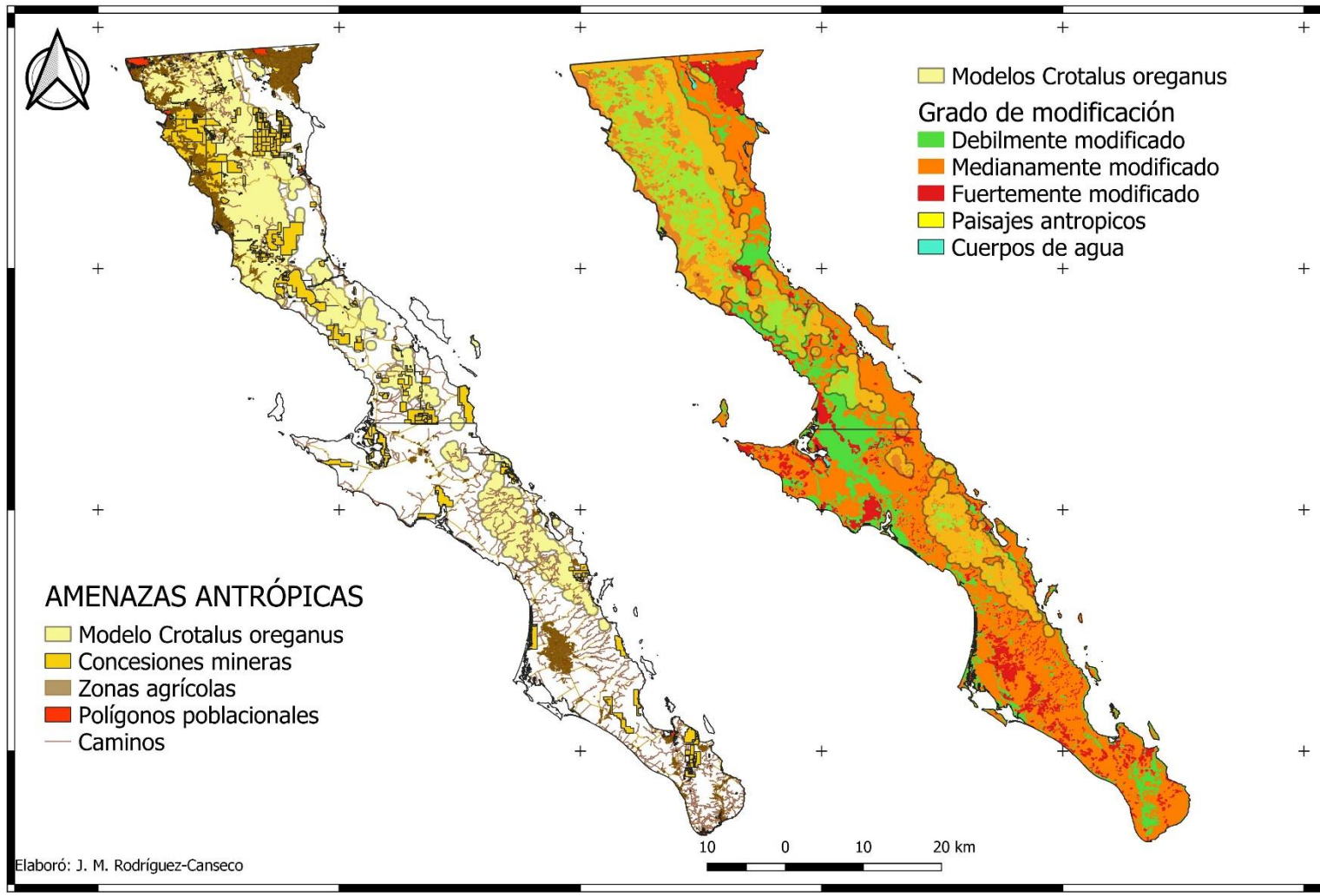


Figura 49. Izquierda- Factores antrópicos que afectan a *Crotalus oreganus*. Derecha- Grado de antropización en la idoneidad de sitio de *Crotalus oreganus*.

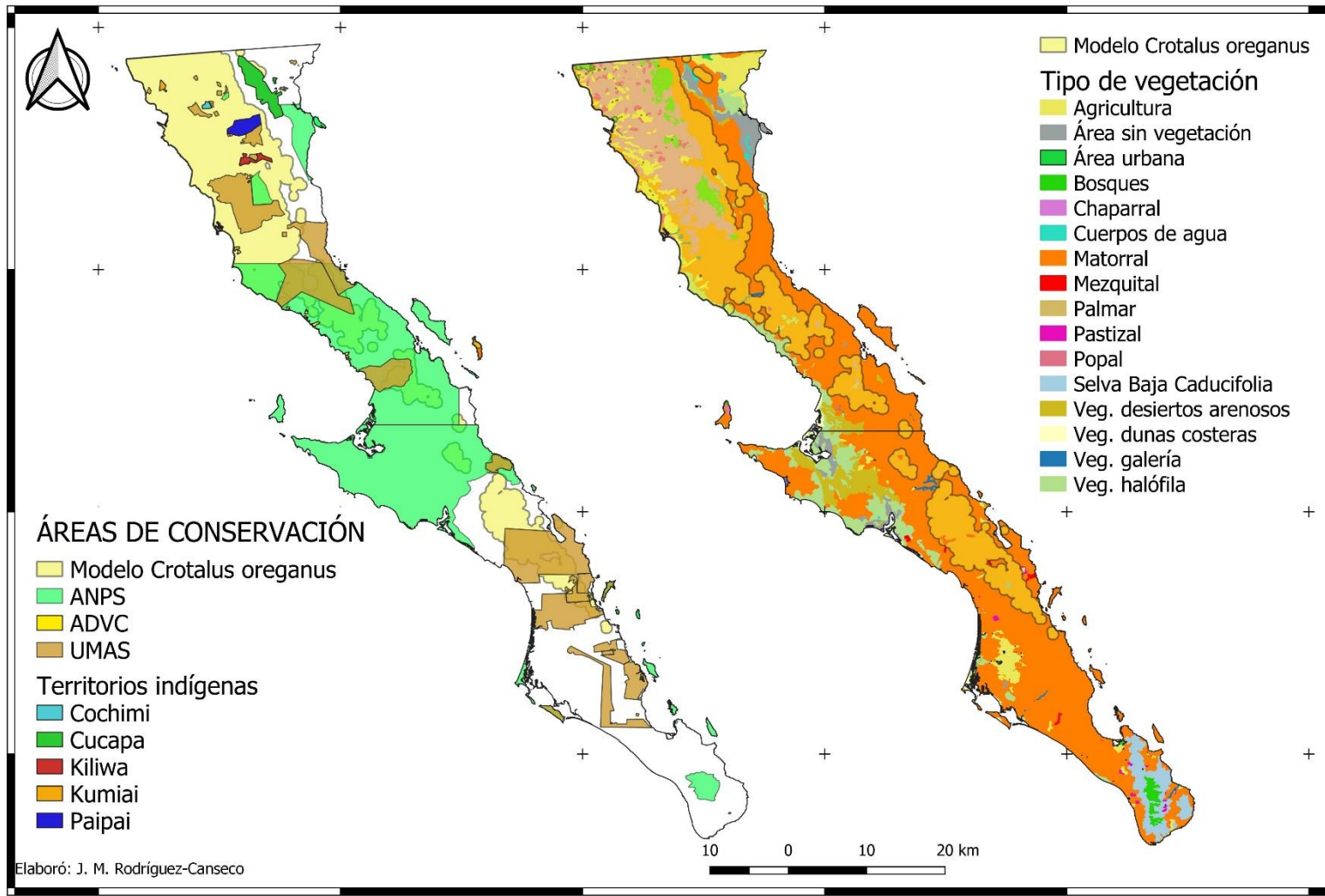


Figura 50. Izquierda- Modelo de *Crotalus oreganus* en polígonos de conservación. Derecha- Vegetación en modelo *Crotalus oreganus*.

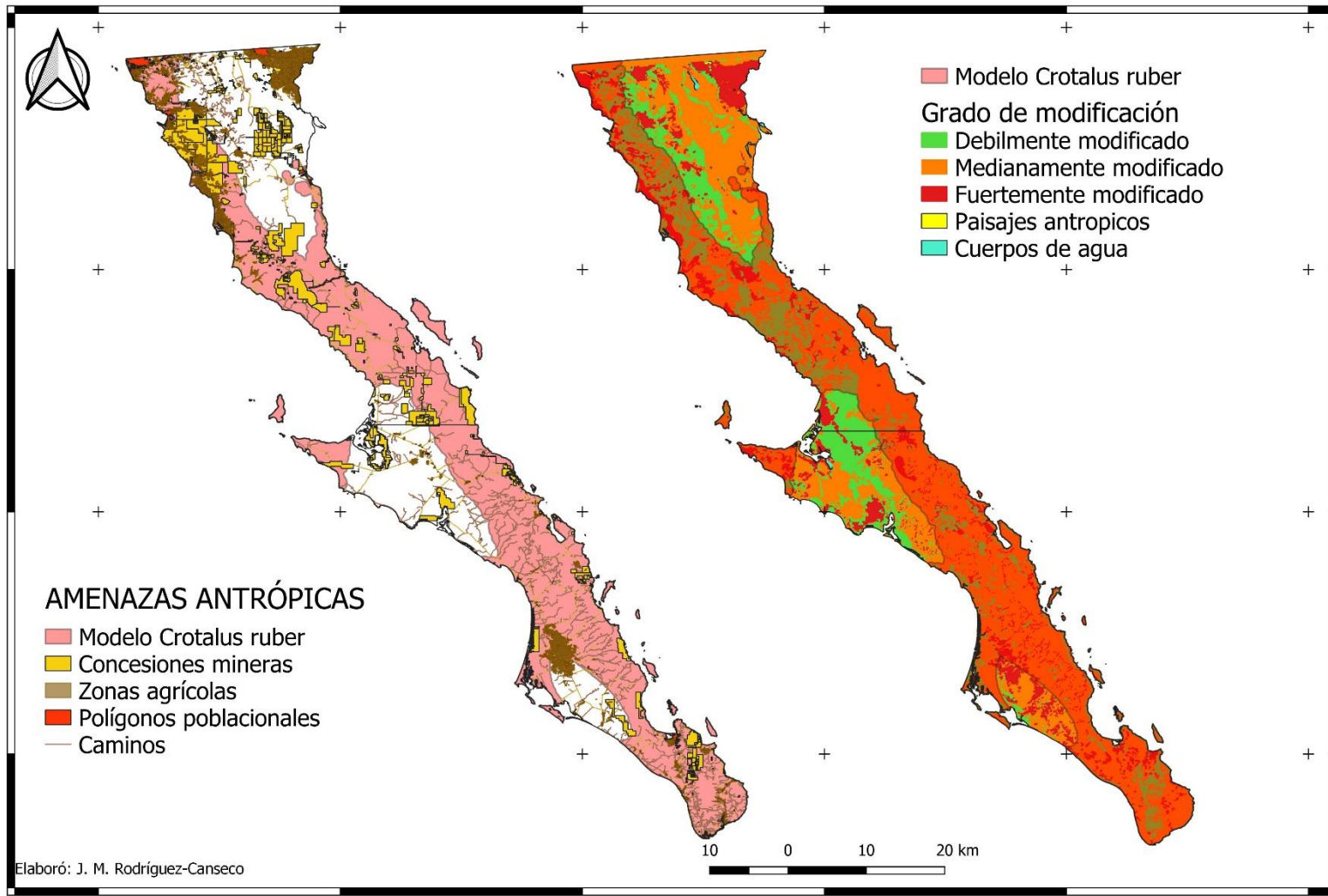


Figura 51. Izquierda- Factores antrópicos que afectan a Crotalus ruber. Derecha- Grado de antropización en la idoneidad de sitio de Crotalus ruber.

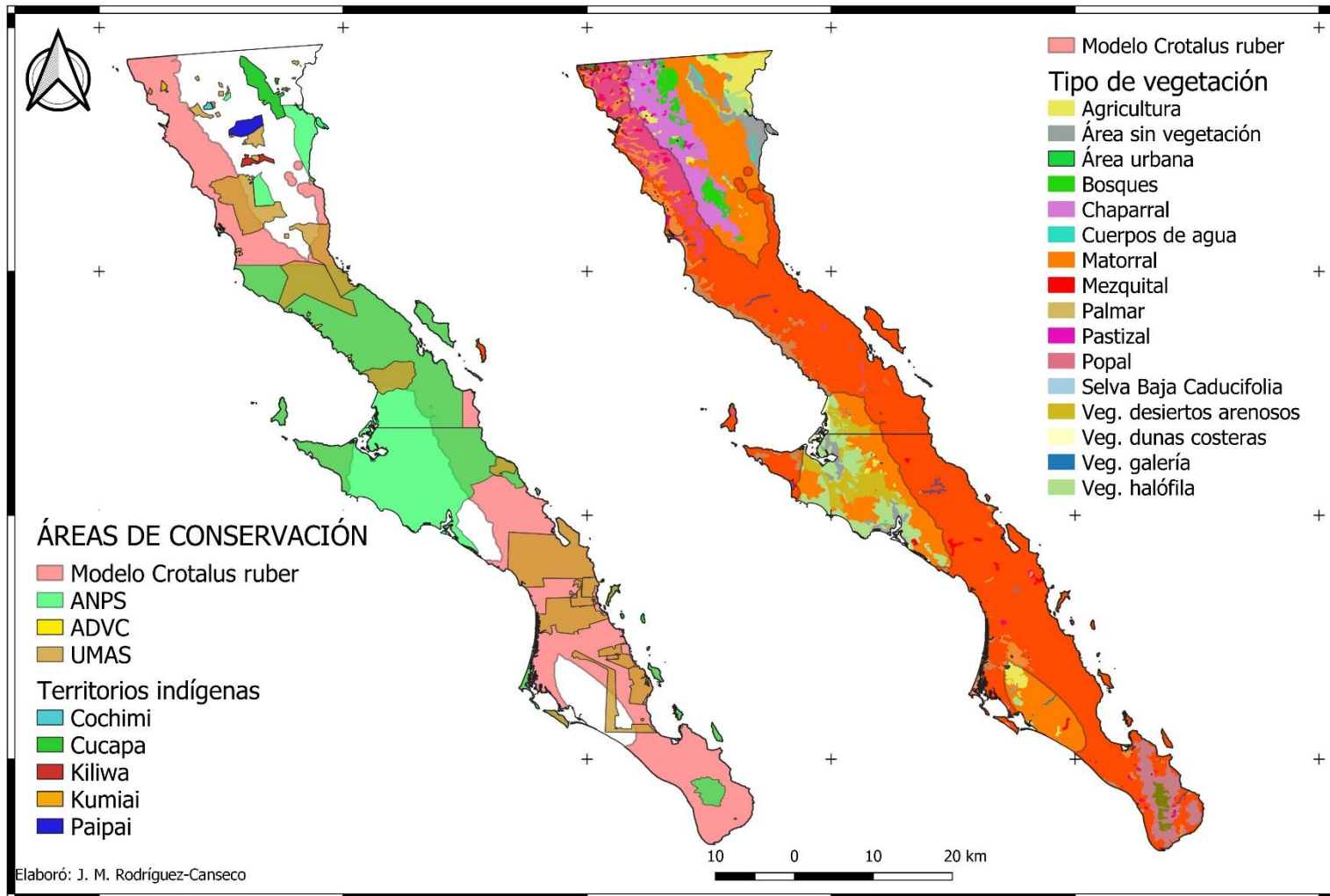


Figura 52. Izquierda- Modelo de *Crotalus ruber* en polígonos de conservación. Derecha- Vegetación en modelo *Crotalus ruber*.

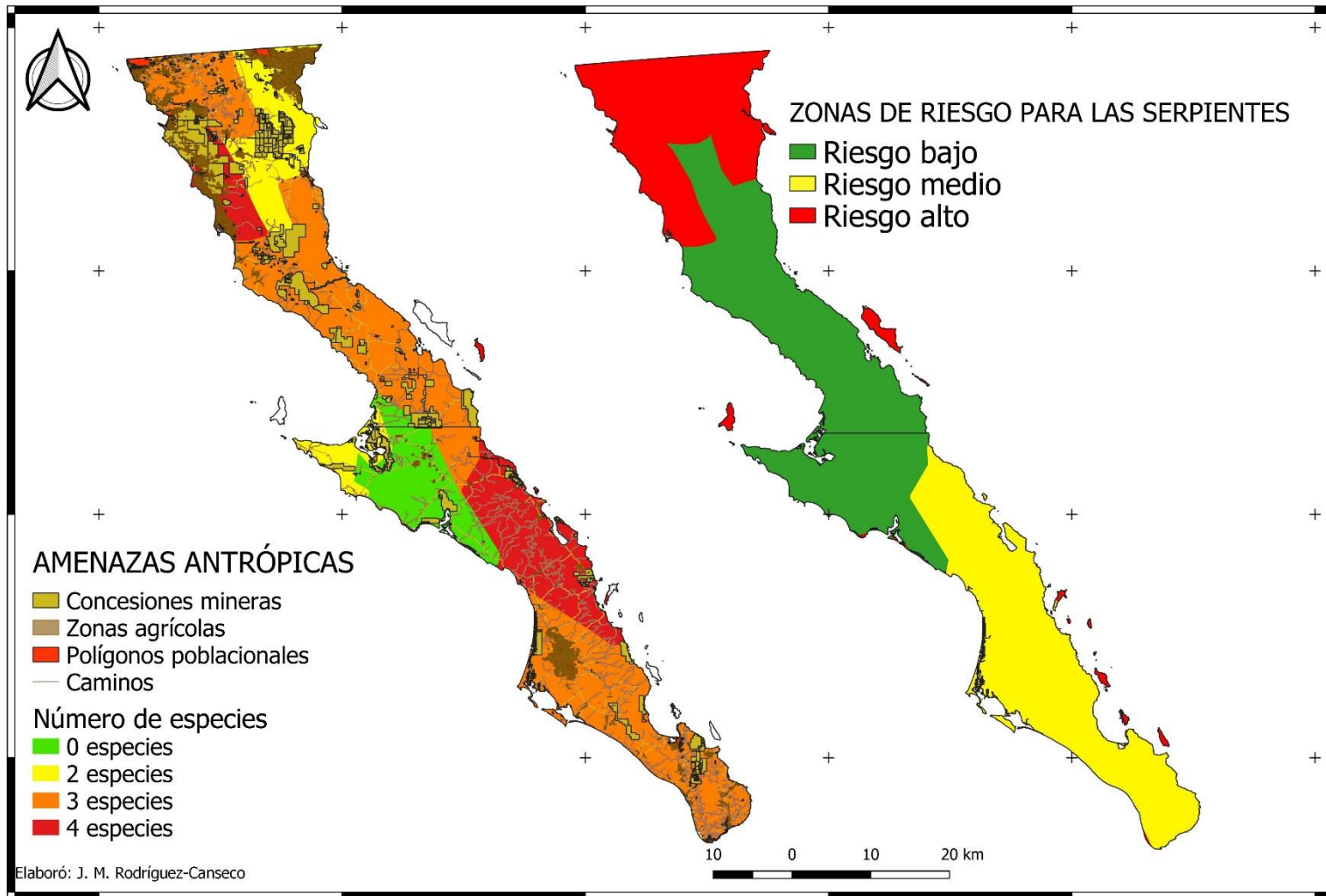


Figura 53. Izquierda- Traslape de factores antrópicos sobre zonas delimitadas por número de especies. Derecha- Delimitación de zonas vulnerables para la conservación.

DISCUSIÓN

Panorama epidemiológico

México es un país en el que a pesar de tener una gran diversidad de especies de serpientes venenosas y una población humana grande, el ofidismo no es un problema tan grave a diferencia de otros países en regiones como el sureste asiático, partes de Suramérica y África ecuatorial (Fernández y Gutiérrez, 2008; Kasturiratne et al., 2008; Chaves et al., 2015; Kasturiratne, 2017; OMS, 2018). Una ventaja muy grande que hay en el país, es que es uno de los principales productores de faboterápicos de excelente calidad a nivel nacional, regional e internacional, una desventaja es su mala distribución (Sandoval-Orozco, 2019). Aunque el problema no solamente se encuentra en la parte gubernamental sino también en la sociedad y el desconocimiento y poca sensibilización hacia el tema. A nivel nacional existen muchas creencias alrededor de las serpientes y en especial las de cascabel, desde propiedades milagrosas de su carne hasta habilidades supernaturales como volar. De esta misma manera existen muchos “doctores” que “curan” las mordeduras de serpiente con “recetas” especiales, desde tomar leche bronca hasta gasolina. Estas acciones tienen como consecuencia que muchas personas mueran o se queden con algún tipo de discapacidad y además, que no se tenga una estadística confiable sobre la cantidad de accidentes ofídicos reales. Sin embargo, aquellos casos que si deciden o logran llegar a un centro de atención médica tienen que enfrentarse con personal poco capacitado y la falta de recursos, en este caso, los faboterápicos.

En este sentido, los estudios sobre panoramas epidemiológicos sobre accidentes ofídicos son muy pocos en todo el país teniendo como ejemplos los realizados por Suárez y Luna (2009) en Chiapas, Yáñez-Arenas (2014) en Yucatán y Yáñez Arenas *et al.* (2016) en Veracruz, en los que obtienen información de dependencias estatales sobre accidentes ofídicos. En dichos estudios, los números son muy altos ya que tienen una diversidad de serpientes venenosas muy alta, una densidad poblacional media-alta y en general condiciones ambientales muy diferentes. Para los estados de Baja California y Baja California Sur no se habían realizado estudios específicos, solo se habían mencionado en los estudios realizados por González-Rivera et al. (2009) y Siria y Arellano (2009), donde analizan los ofidismos en diferentes periodos y mencionan cuantos casos hubo en los estados de la península.

Sin embargo, la zona de estudio puede ser comparable con los estados vecinos al norte, California y Arizona, ya que estos comparten tanto especies como ecorregiones. El California Poison Control System (CPCS, 2019) reporta que cada año hay más de 300 casos

de mordedura de serpientes venenosas, mientras que en el estado vecino, el Arizona Poison and Drug Information Center (APDIC, 2018) reportaron una incidencia de 156 casos de mordeduras de serpientes venenosas. Esta cantidad mayor que la presentada en este estudio puede deberse a varios factores: 1) tienen una mayor diversidad de especies de serpientes venenosas, 2) existe una mayor densidad poblacional y 3) es probable que no existan remedios caseros para curar la mordedura, por lo que acuden inmediatamente al centro de salud, donde se lleva un registro detallado, es decir, su sistema de salud es más efectivo.

Esta comparación hace evidente un segundo elemento que hace al ofidismo en nuestro país un problema más complicado: la falta de un correcto y detallado registro de los accidentes ofídicos. Los ofidismos se encuentran en un círculo vicioso en el que por un lado se encuentra la población sin sensibilizar tanto acerca de la prevención de esta ETD, como hacia el acudir a un centro de salud para ser tratados. Por otro lado se encuentra el personal médico que no está capacitado para tratar un envenenamiento o intoxicación por mordedura de serpiente venenosa. En muchos casos no saben aplicar la faboterapia y en muchos menos casos pueden determinar si es una serpiente venenosa y de que especie se trata. En el siguiente paso se encuentra el gobierno que, al no ver un problema “grave”, no invierte en la adquisición de faboterápicos, capacitación del personal médico ni en espacios o protocolos específicos para atender los accidentes ofídicos.

Para comenzar a solucionar este problema, se cuenta con el boletín semanal que emite la Secretaría de Salud a través del Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica en el que se reportan los casos de mordeduras de serpientes venenosas por estado y por sexo, sin embargo no se especifican grupos de edad, localidades u otros datos importantes. Así mismo, en cada estado hay un departamento o sector dedicado a cuestiones epidemiológicas, los cuales se encargan de llevar el registro de estos accidentes, pero el caso es el mismo: no compilan la información suficiente. Además, la poca información que generan las dependencias estatales, no se encuentra de acceso libre.

Un correcto y detallado registro de accidentes ofídicos, en el que se incluyan datos importantes como: localidad donde fue la mordida, hora, fecha, medio de transporte, especie involucrada, lugar anatómico donde fue mordido, protocolo seguido, cantidad de viales requeridos y notas de seguimiento, debe ayudar a tener una estadística confiable sobre esta ETD y de esta manera se le dé la importancia necesaria y se le asignen los recursos debidos.

Modelo de nicho ecológico

En cuanto a los modelos de nicho ecológicos obtenidos, es importante mencionar que la finalidad de este trabajo no fue la de evaluar el desempeño de un modelo en específico. En este sentido, los seis modelos obtenidos son similares a aquellos modelos previamente conocidos (Grismer, 2002; CONABIO, 2006; IUCN, 2007; SEMARNAT, 2018). Existen algunas diferencias que se deben al método utilizado y a los insumos que aplicaron en los modelos. En las siguientes figuras se muestran las comparaciones de los modelos realizados con los ya mencionados.

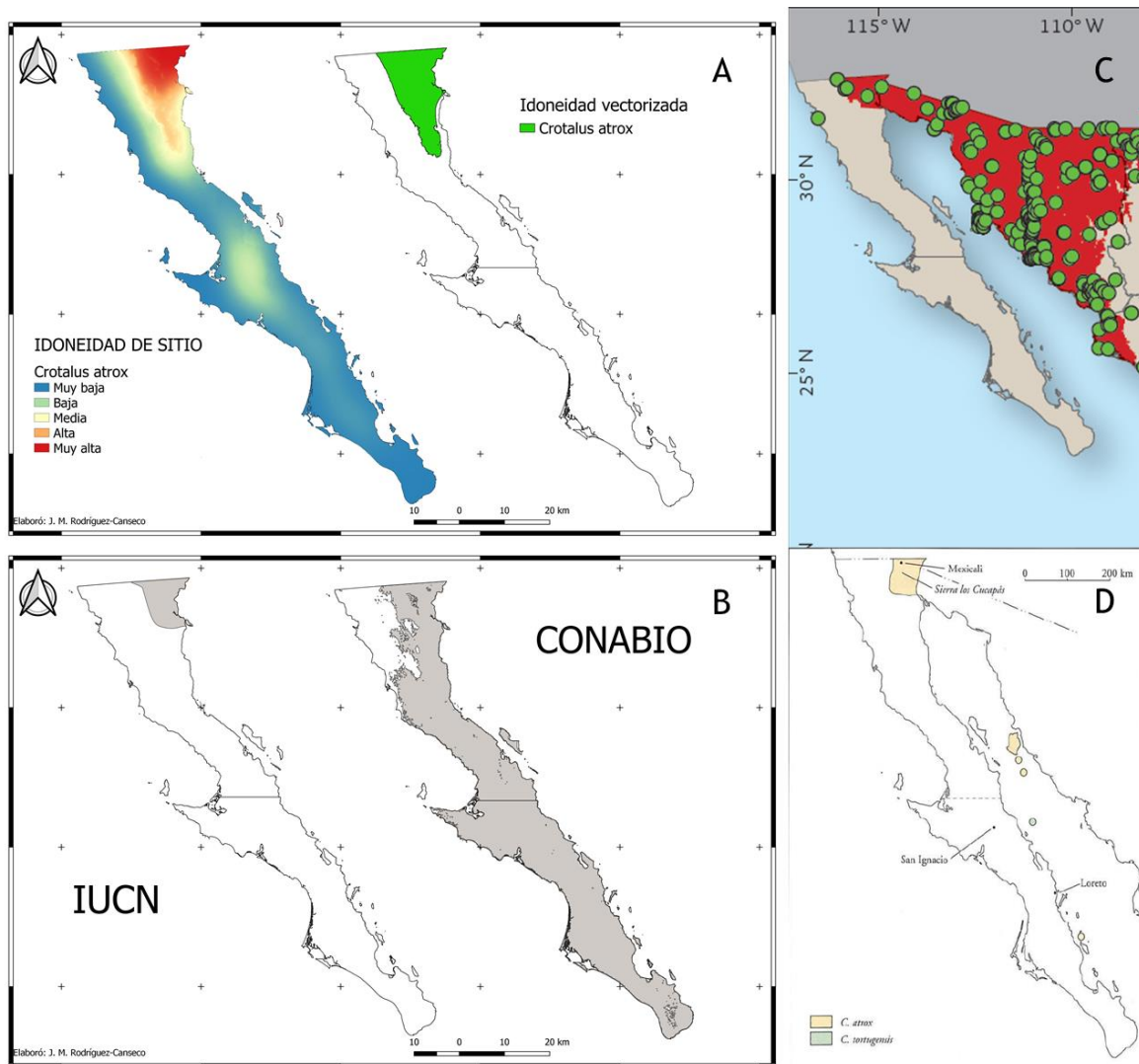


Figura 54. A) Izquierda-Modelo de idoneidad de sitio para *Crotalus atrox*. Derecha-Idoneidad vectorizada. B) Izquierda- Distribución de acuerdo la IUCN (NatureServe e IUCN, 2007a). Derecha- Distribución de acuerdo a CONABIO (Correa-Cano et al., 2006a). C) Modelo por SEMARNAT (2018). D) Distribución de acuerdo a Grismer (2002)

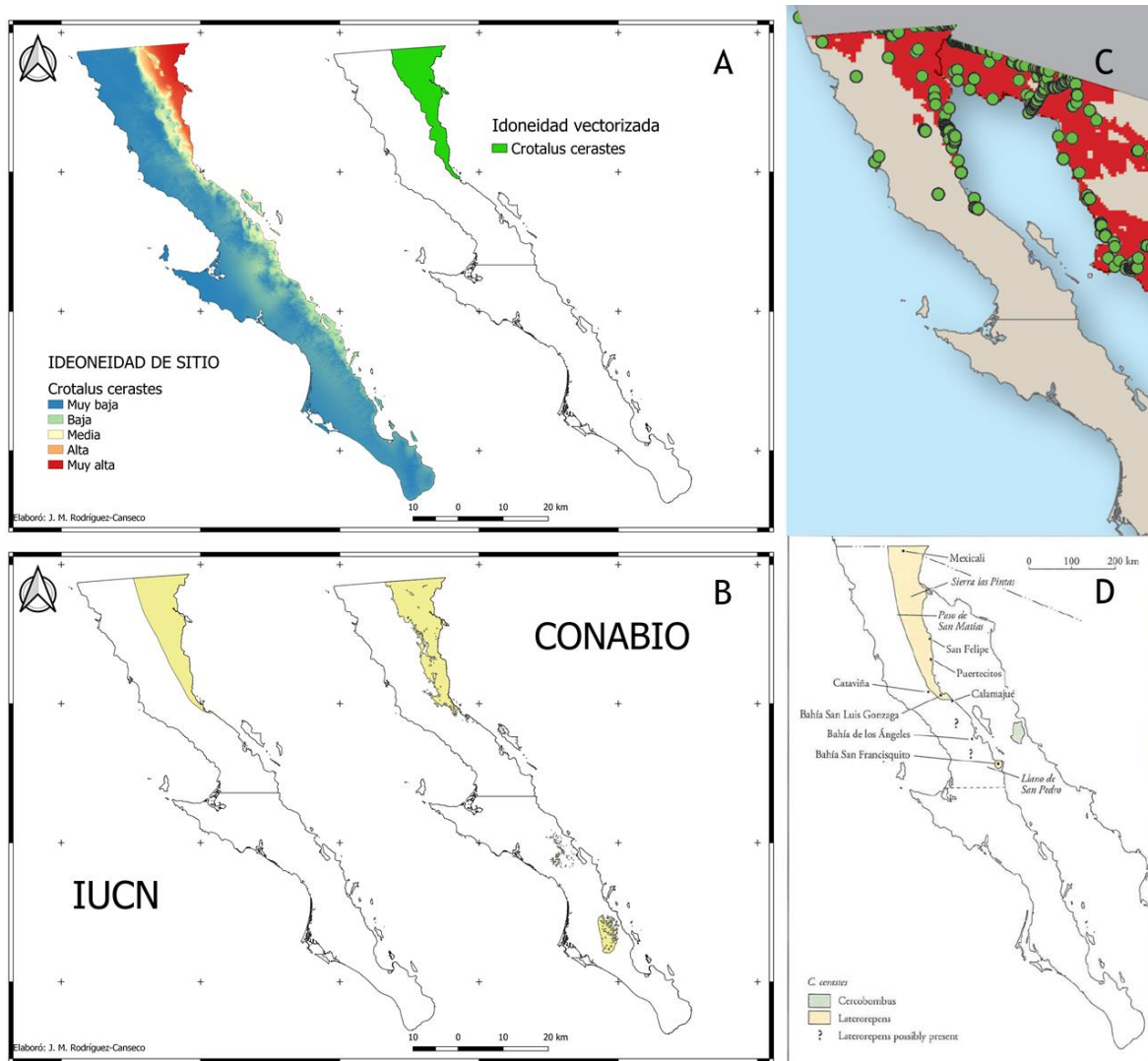


Figura 55. A) Izquierda-Modelo de idoneidad de sitio para *Crotalus cerastes*. Derecha-Idoneidad vectorizada. B) Izquierda- Distribución de acuerdo la IUCN (NatureServe e IUCN, 2007b). Derecha- Distribución de acuerdo a CONABIO (Correa-Cano et al., 2006b). C) Modelo por SEMARNAT (2018). D) Distribución de acuerdo a Grismer (2002)

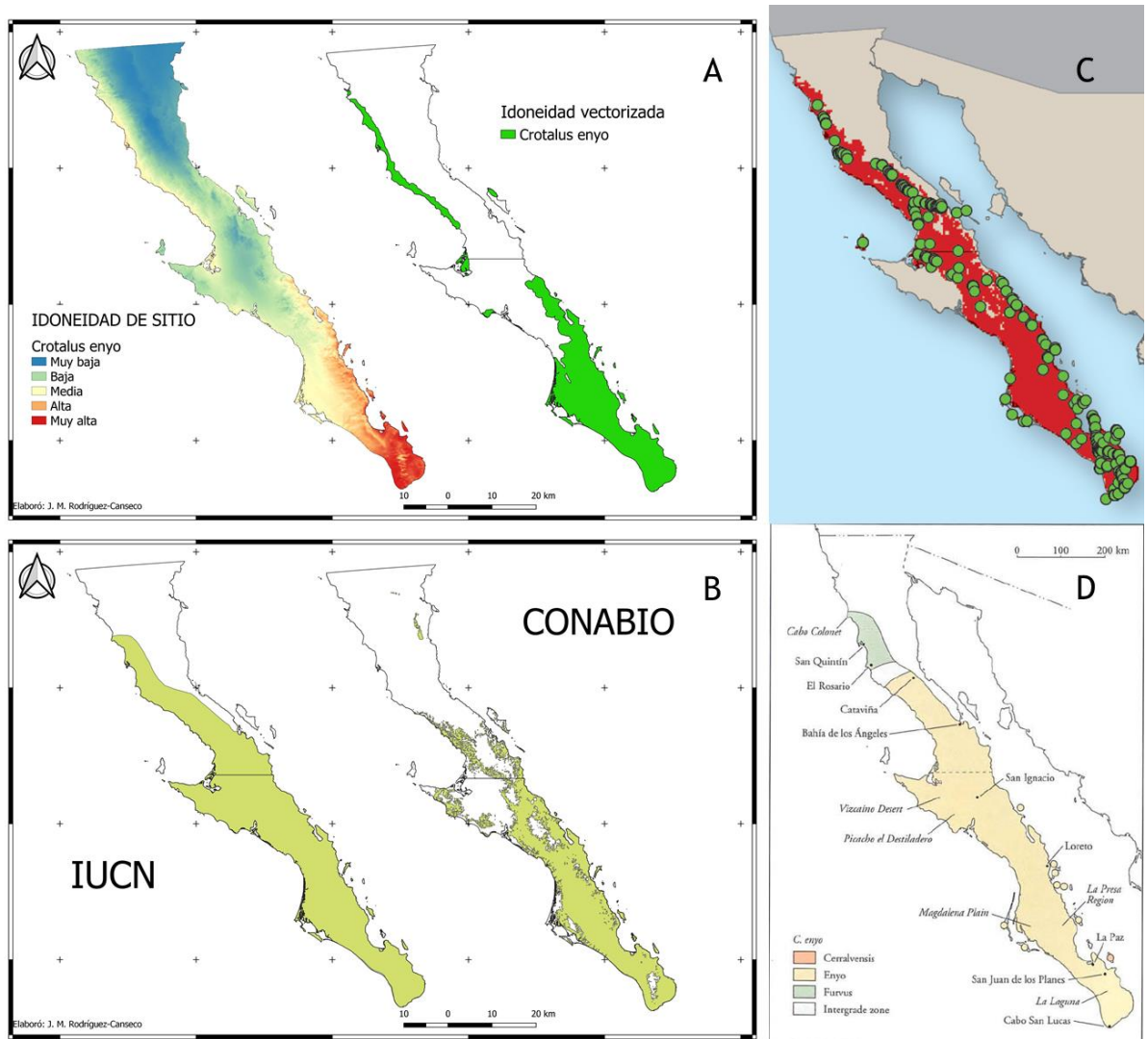


Figura 56. A) Izquierda-Modelo de idoneidad de sitio para *Crotalus enyo*. Derecha-Idoneidad vectorizada. B) Izquierda- Distribución de acuerdo la IUCN (NatureServe e IUCN, 2007c). Derecha- Distribución de acuerdo a CONABIO (Correa-Cano et al., 2006c). C) Modelo por SEMARNAT (2018). D) Distribución de acuerdo a Grismer (2002)

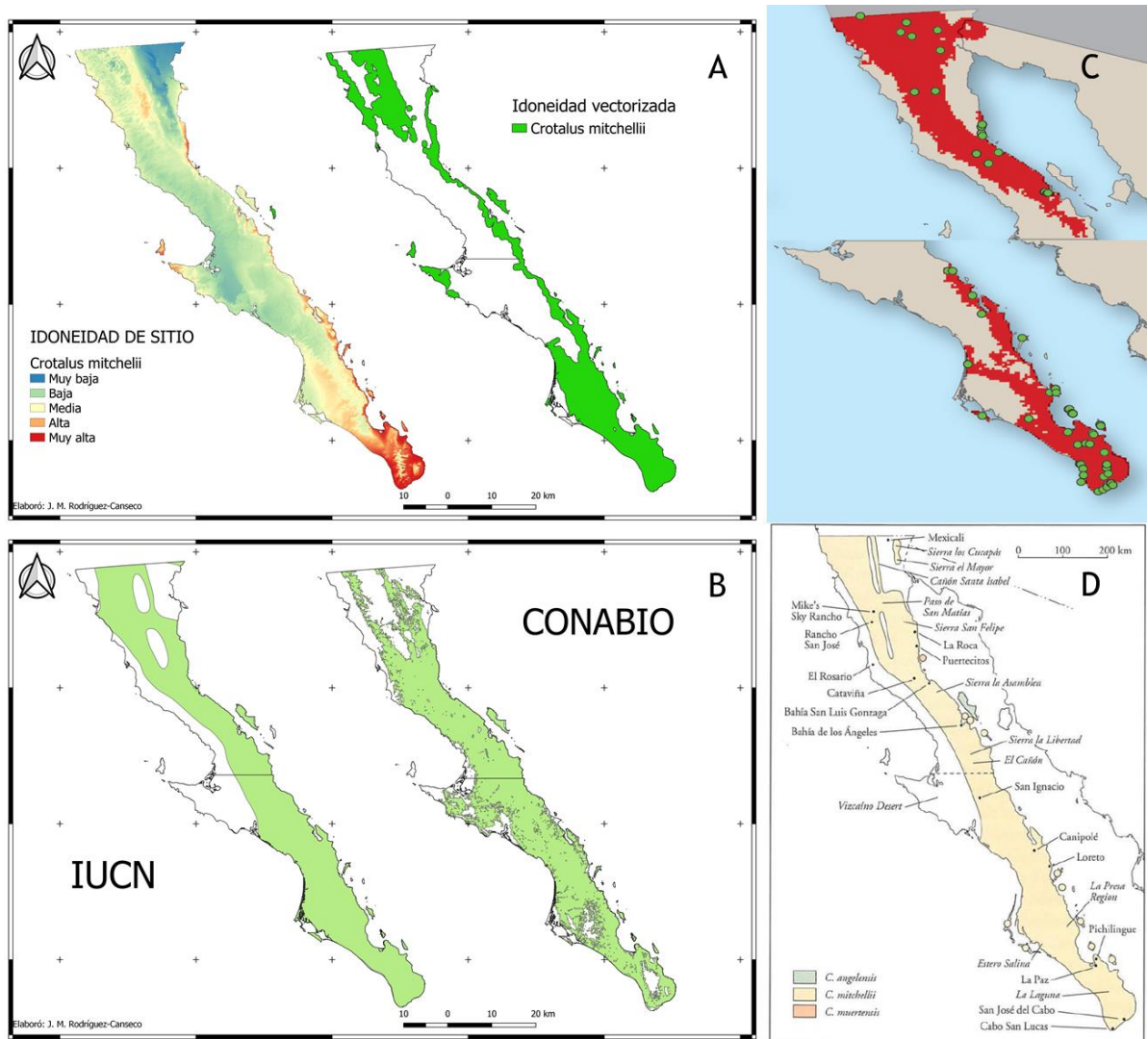


Figura 57. A) Izquierda-Modelo de idoneidad de sitio para *Crotalus mitchellii*. Derecha-Idoneidad vectorizada. B) Izquierda- Distribución de acuerdo la IUCN (NatureServe e IUCN, 2007d). Derecha- Distribución de acuerdo a CONABIO (Correa-Cano et al., 2006d). C) Modelo por SEMARNAT (2018). En este estudio toman *Crotalus mitchellii* y *Crotalus pyrrhus* como especies diferentes. D) Distribución de acuerdo a Grismer (2002)

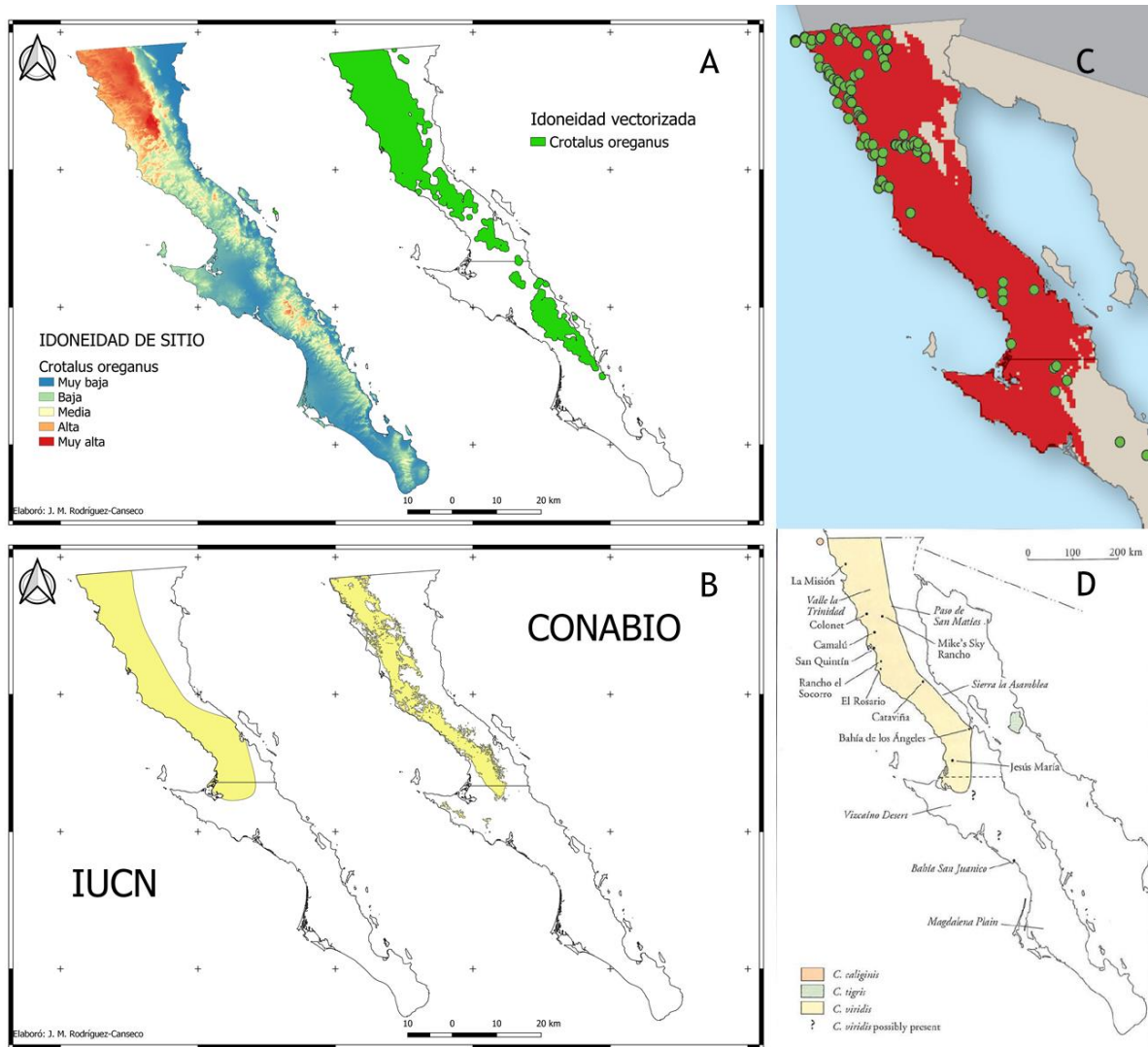


Figura 58. A) Izquierda-Modelo de idoneidad de sitio para *Crotalus oreganus*. Derecha-Idoneidad vectorizada. B) Izquierda- Distribución de acuerdo la IUCN (NatureServe e IUCN, 2007e). Derecha- Distribución de acuerdo a CONABIO (Correa-Cano et al., 2006e). C) Modelo por SEMARNAT (2018). D) Distribución de acuerdo a Grismer (2002)

Para el año de publicación de Grismer (2002) la especie *Crotalus oreganus* se consideraba como *Crotalus viridis*. Incluso en la actualidad hay quienes se refieren a ella como *Crotalus helleri*.

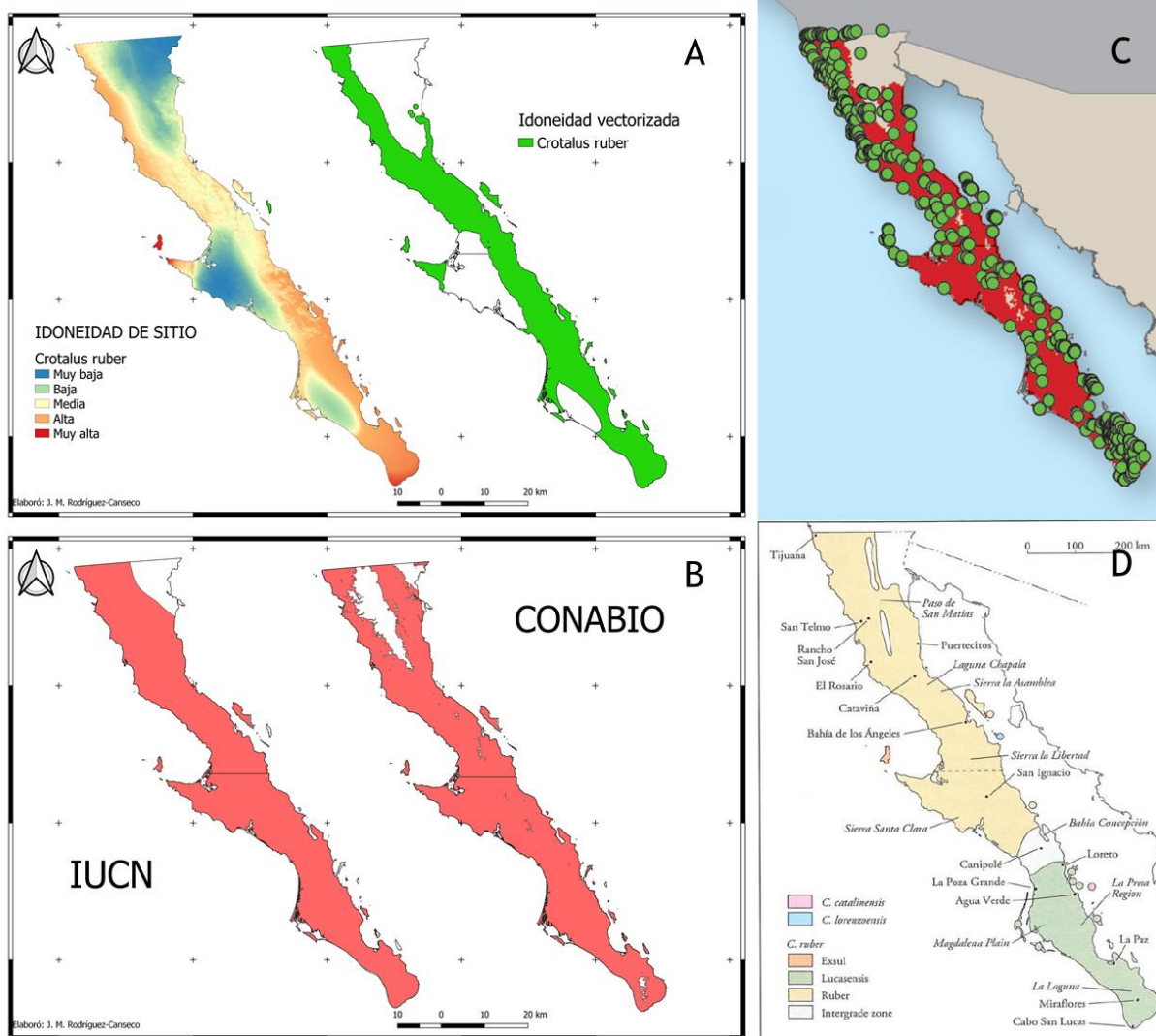


Figura 59. A) Izquierda-Modelo de idoneidad de sitio para *Crotalus ruber*. Derecha-Idoneidad vectorizada. B) Izquierda- Distribución de acuerdo la IUCN (NatureServe e IUCN, 2007f). Derecha- Distribución de acuerdo a CONABIO (Correa-Cano et al., 2006f). C) Modelo por SEMARNAT (2018). D) Distribución de acuerdo a Grismer (2002)

Las publicaciones de IUCN, CONABIO y Grismer (2002) no mencionan la metodología por la cual llegaron a dichos polígonos de distribución, mientras que SEMARNAT (2018) realizaron MNE con el algoritmo Kuem y capas bioclimáticas WorldClim.

Riesgo de accidente ofídico

Los accidentes ofídicos o mordeduras de serpientes venenosas son un problema de salud pública que afectan a una porción de la sociedad que se encuentra en zonas con un mayor riesgo. Estas zonas son aquellas en donde converge la presencia del ser humano con la presencia de al menos una especie de serpiente venenosa, esto acrecentado por factores antrópicos como distancias y tiempos de recorrido hasta un centro de atención médica, la falta de capacitación del personal médico, la mala distribución de los faboterápicos y la poca sensibilización de la gente ante un problema de esta naturaleza.

Una de las mejores maneras de disminuir el número de accidentes ofídicos en nuestro país, es por medio de la sensibilización y prevención. Esto es, saber qué hacer en caso de un encuentro y primordialmente saber dónde puede haber un encuentro y evitar esas zonas. En este sentido, se han realizado algunos trabajos similares, tanto en el mundo como en México. Longbottom et al., (2018) modelaron la distribución potencial de 256 especies de serpientes venenosas, las unieron y empataron con calidad y acceso a servicios de salud en los distintos países. Las zonas más vulnerables fueron África ecuatorial y algunas zonas del sureste asiático. En sus mapas se logra ver que la región de la península no se encuentra en zona vulnerable, sin embargo, si toma en cuenta el tiempo de recorrido máximo al centro de la península. Yáñez-Arenas et al., (2015), modelan la distribución de 90 especies de serpientes venenosas en América y delimitan zonas de vulnerabilidad en el presente y a futuro, por lo que su estudio solo toma en cuenta MNE y no otros factores antrópicos. En este estudio se observa que para la península solo hay registros de serpientes de cascabel del género *Crotalus* y que las zonas de mayor vulnerabilidad se encuentran en el norte de la península, concordando con lo obtenido en nuestro estudio.

En México se han realizado dos estudios similares en los que asocian casos de ofidismo con agricultura y acceso a servicios de salud (Luna-Trejo et al., 2019; Rodríguez-Colín y Carbajal-Saucedo, 2019). Sin embargo ellos no realizaron MNE de las especies distribuidas en sus zonas de estudio. A pesar de ello, sus resultados fueron similares al observar que en zonas con mayor afluencia de personas, existe un mayor número de accidentes ofídicos.

En nuestro estudio se determinó que la zona norte y sur de la península son las que presentan mayor riesgo de accidente ofídico por factores antrópicos, lo cual coincide con los números de casos de ofidismo reportados por la Secretaría de Salud estatal correspondiente. Además, esto es concordante con la presencia aumentada del humano por agricultura, turismo, zonas urbanas/rurales, actividad minera, caminos, en zonas con mayor idoneidad de sitio para la presencia de 1 a 4 especies de serpientes de cascabel.

Sin embargo, una vez que se agregan a la ecuación los servicios de salud y el tiempo de recorrido hasta un hospital de segundo nivel, solamente resulta en una zona de alto riesgo, que abarca el sur de la ciudad de Ensenada hasta San Quintín. Esta zona tiene convergencia de cuatro especies venenosas, aunado a una fuerte presencia agrícola, zonas turísticas, caminos y algunas concesiones mineras. Su tiempo de recorrido es de más de tres horas desde San Quintín hasta Ensenada. De igual manera se considera que las islas tanto del Golfo de California como del Pacífico presentan un riesgo alto debido a su inaccesibilidad y muchos casos, su distancia hacia la península. El resto de las zonas al norte (Tijuana, Tecate, Playas de Rosarito y Mexicali) y al sur (La Paz, Los Cabos y parte de Mulegé) disminuyeron su riesgo debido a la cercanía a un centro de salud de segundo nivel y la cantidad de centros de salud dentro de su polígono. Estos centros de salud normalmente son rurales y por lo tanto no tienen la capacidad de administrar faboterápicos, pero pueden actuar como primeros respondientes canalizando al paciente y remitiéndolo al de segundo nivel. La zona centro permanece en un riesgo medio debido a la distancia a centros de salud, aunque la presencia humana no es tan abrumante como en la zona norte o sur, por lo que disminuye el riesgo de un accidente ofídico.

Es importante mencionar que esto es bajo la suposición que en los centros de salud de segundo nivel (Tijuana, Mexicali, Ensenada, La Paz y Los Cabos) realmente cuentan con los recursos y el tratamiento adecuado para revertir un envenenamiento por mordedura de serpiente venenosa.

Este es el primer estudio que se realiza de este tipo en la península de Baja California, que si bien no es un estado con una situación alarmante de accidentes ofídicos, es un buen modelo para hacer notar el problema de salud pública y demostrar cómo algunos factores antrópicos que podrían considerarse sin relevancia, se tornan importantes cuando se trata de una emergencia.

Vulnerabilidad y riesgo para la conservación

De acuerdo al estudio realizado por Paredes-García et al. (2011), 9 de las 13 especies (incluyendo a *Crotalus estebanensis*) se encuentran dentro de un ANP en Baja California. Sin embargo su estudio se llevó a cabo antes del decreto del ANP Reserva de la Biósfera Islas del Pacífico de la Península de Baja California (SEGOB, 2016) donde se encuentra *Crotalus oreganus*. De la misma manera se realizó antes de la separación de *Crotalus mitchellii* en *C. pyrrhus*, *C. thalassoporus* y *C. polisi* (Meik et al., 2018). En este sentido, las 12 especies quedarían dentro de al menos un ANP en la península. Su metodología incluyó la elaboración de modelos de nicho ecológico de las especies de *Crotalus* de México y el traslape con los polígonos de las ANPs decretadas hasta ese entonces. Esto concuerda con nuestro estudio, sin embargo, ellos solo consideran ANP's mientras que nuestro trabajo incluye UMA's y ADVC's por ser zonas donde han demostrado que son igual o más efectivas para la conservación que las ANP's, debido principalmente a su carácter de tierras privadas. En cuanto a los territorios indígenas, fueron incluidos porque se sabe que los pueblos originarios tienen un vínculo importante con la naturaleza, por lo que conservan mejor sus recursos (Larsen y Springer, 2008; Nahuel, 2009; Garduño, 2017). Lovich et al., (2009) y Ramírez-Acosta (2012) realizan un estudio similar, utilizando la herpetofauna en general y vertebrados endémicos respectivamente. De igual manera, modelan la idoneidad de sitio y solo utilizan ANP's como comparación o medida de grado de conservación.

En el PACE (SEMARNAT, 2018), se mencionan las amenazas a las que están expuestas las serpientes de cascabel de ambientes desérticos, las cuales son:

- ☞ **Pérdida del hábitat legal e ilegal.**
- ☞ **Fragmentación del hábitat.**
- ☞ Muerte por aversión y/o miedo.
- ☞ Muerte para uso en remedios tradicionales.
- ☞ Muerte para su uso como alimento/consumo de subsistencia.
- ☞ Muerte para su uso en bebidas alcohólicas. Sotol y tequila.
- ☞ Muerte para uso en productos de peletería y/o artesanías.
- ☞ Muerte para uso en prácticas de esoterismo.
- ☞ Captura ilegal para comercialización como mascota.

En negritas se marcan aquellas que fueron utilizadas en este trabajo para medir la vulnerabilidad de las especies y delimitar las zonas donde las cascabeles son vulnerables a declinar sus poblaciones. Desgraciadamente las demás no han sido cuantificadas a detalle,

aunque Villalobos-Juárez y Sigala-Rodríguez (2019) realizaron un estudio en el que reportan una extracción de 11, 652 serpientes de cascabel en el 2017, en toda la República Mexicana.

En este estudio se determinó que las seis especies analizadas, se encuentran en un nivel de vulnerabilidad media, dentro del territorio peninsular. Las especies con menores valores fueron *C. atrox*, *C. cerastes* y *C. oreganus*, ya que en un porcentaje alto de su distribución hay un grado de modificación del paisaje alto y una distribución restringida en la península, sin embargo estas especies tienen una distribución más amplia en el resto del país y en Estados Unidos, aunque sus amenazas son las mismas. El resto de las especies tienen valores positivos, dado que mucha de su distribución se localiza en el centro de la península donde no hay muchas actividades antrópicas. No se consideraron factores biológicos intrínsecos de las especies como lo hacen en el MER (SEMARNAT, 2010).

Esto está íntimamente relacionado con la delimitación de zonas de riesgo para la conservación de serpientes de cascabel. Se establecieron tres zonas de riesgo alto, localizadas en el norte de la península, donde se encuentra la mayor concentración poblacional (más de 3 millones de habitantes), el mayor grado de modificación y el menor número de polígonos de conservación. Además, en estas zonas convergen las seis especies analizadas en este estudio. De igual manera, todas las islas se consideran como de riesgo alto por su atractivo exótico y por el simple hecho de ser islas. Dos zonas riesgo medio en la parte sur de la península, donde hay actividades económicas como agricultura y turismo pero la población es menor y cuenta con un mayor número de polígonos de conservación. Finalmente se delimitaron cuatro zonas de riesgo bajo en la parte central de la península ya que en esta zona es donde hay una densidad poblacional muy baja, casi no hay actividades económicas y hay una mayor superficie protegida por polígonos de conservación.

Este estudio es el primero de su tipo para la península de Baja California y para México, ya que se han analizado los factores antrópicos por separado e independientes de la distribución conocida de las especies. Es importante que se agreguen variables para poder hacer el análisis más localizado y más a detalle.

CONCLUSIONES

- ☪ Se registró un total de 541 casos de mordeduras de serpiente venenosa en la península de Baja California en el periodo del 2003 al 2018
- ☪ Baja California tuvo un registro de 273 casos con un promedio anual de 17.06; Baja California Sur tuvo un registro de 268 casos con un promedio de 16.56.
- ☪ La jurisdicción con mayor número de casos fue Mexicali con 90 casos; la que menos casos tuvo fue Comondú con 16 accidentes.
- ☪ El mayor número de accidentes ofídicos se dio entre los meses de mayo y octubre y los más afectados fueron los hombres con un 69% de los casos reportados.
- ☪ Los modelos de idoneidad de sitio obtenidos coinciden en su mayoría con los polígonos previamente reportados.
- ☪ Se obtuvieron nueve zonas donde convergen desde una hasta cuatro especies a lo largo de la península.
- ☪ Se definieron ocho zonas de riesgo medio y una zona de riesgo alto para accidente ofídico.
- ☪ Se determinó que las seis especies analizadas se encuentran en una vulnerabilidad media.
- ☪ Se establecieron tres zonas de riesgo alto, dos de riesgo medio y cuatro de riesgo bajo para la conservación de las serpientes de cascabel en la península de Baja California.

LITERATURA CITADA

- Allender, M. C., D.B. Raudabaugh, F.H. Gleason, A.N. Miller. 2015. **The natural history, ecology, and epidemiology of *Ophidiomyces ophiodiicola* and its potential impact on free-ranging snake populations.** Fungal Ecology 17: 187-196. doi: 10.1016/j.funeco.2015.05.003
- Álvarez-Castañeda, S.T. y J.L. Patton. 2000. **Mamíferos del Noroeste de México II.** Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, B.C.S.
- Anderson, R. P. 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. <https://doi.org/10.1111/nyas.12264>
- Anderson, R. P. 2017. **When and how should biotic interactions be considered in models of species niches and distributions?** Journal of Biogeography, 44(1), 8–17 pp. <https://doi.org/10.1111/jbi.12825>
- Araújo, M. B., R. G. Pearson, W. Thuiller, y M. Erhard. 2005. **Validation of species-climate impact models under climate change.** Global Change Biology. 11(9), 1504–1513 pp. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01000.x>
- Arizona Poison and Drug Information Center (APDIC). 2019. **APDIC 2018 ANNUAL REPORT.** 13 pp. Consultado el 29 de abril del 2019, en: www.azpoison.com
- Arnaud Franco, G., M. Martins, L. Burguete-Trujillo, I. Hernández-Rodríguez, H. Avila-Villegas, R. Murillo-Quero y A. Quijada-Mascareñas. 2008. **Historia natural de la serpiente de cascabel *Crotalus catalinensis*, endémica de las isla Santa Catalina, Golfo de California, México.** Pp 93-100. En: Estudios de las Islas del Golfo de California. Flores-Campaña, L.M. (Editor). Universidad Autónoma de Sinaloa-Gobierno del Estado de Sinaloa-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México. 252 pp.
- Arnaud Franco, G. A. 2015. **Conservación de serpientes de cascabel de la península e islas del Golfo de California y del Pacífico.** Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. HK051 México D. F. 107 pp.
- Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coordinadores). 2000. **Regiones terrestres prioritarias de México.** Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

- Ávila-Villegas, H. 2017. **Serpiente de cascabel, entre el peligro y la conservación**. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 167 pp.
- Baldwin, R. A. 2009. **Use of Maximum Entropy Modeling in Wildlife Research**. 854–866 pp. <https://doi.org/10.3390/e11040854>
- Beck, J., M. Böller, A. Erhardt y W. Schwanghart. 2014. **Spatial bias in the GBIF database and its effect on modeling species' geographic distributions**. *Ecological Informatics*, 19, 10–15 pp. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2013.11.002>
- Blonder, B., C. Lamanna, C. Violle, y B. J. Enquist. 2014. **The n-dimensional hypervolume**. *Global Ecology and Biogeography*, 23(5), 595–609 pp.
- Bustos, M. L., M. N. Sánchez, M. E. Peichoto, G. P. Teibler. 2018. **Primer registro de enfermedad fúngica en una serpiente sudamericana: características clínicas y patológicas**. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 2018; 29(3): 1036-1042. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v29i3.15072>
- California Poison Control System (CPCS). 2019. **Rattlesnakes**. Consultado el 29 de abril del 2019, en: <https://calpoison.org/topics/rattlesnakes>
- Campbell, J. A. y W. W. Lamar. 2004a. **The venomous reptiles of the western hemisphere, vol. I**. Comstock/ Cornell University Press, Ithaca, New York. 870 pp.
- Campbell, J. A. y W. W. Lamar. 2004b. **The venomous reptiles of the western hemisphere, vol. II**. Comstock/ Cornell University Press, Ithaca, New York. 870 pp.
- Carbajal-Márquez, R. A. 2013. **Uso de hábitat de *Crotalus enyo* (Serpentes: Viperidae) en la región del Cabo, Baja California Sur, México**. Tesis de Maestría. CIBNOR. 132 pp.
- Cardona Arboleda, O. D., M. K. van Aalst, J. Birkmann, M. Fordham, G. McGregor, R. Pérez, R. S. Pulwarty, E. L. F. Schipper y B. Tan Sinh. 2012. **Determinants of risk: exposure and vulnerability**. En *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 65-108. Cambridge: Cambridge University Press.
- Casas Andreu, G. Y T. Reyna Trujillo. 1990. **Provincias herpetofaunísticas**. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

- Cervantes-Zamora, Y., S. L. Cornejo-Olgín, R. Lucero-Márquez, J. M. Espinoza-Rodríguez, E. Miranda-Viquez y A. Pineda-Velázquez. 1990. **Provincias Fisiográficas de México**. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- Chaves, L. F., T. W. Chuang, M. Sasa, J. M. Gutiérrez. 2015. **Snakebites are associated with poverty, weather fluctuations, and El Niño**. Science Advances. 1-6 pp. 10.1126/sciadv.1500249
- Chippaux, J. P. 2008. **Estimating the Global Burden of Snakebite Can Help To Improve Management**. PlosMedicine. Vol 5. Issue 11. 1538-1538 pp.
- Colwell, R. K., y T. F. Rangel. 2009. **Hutchinson's duality: the once and future niche**. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(2), 19651–19658 pp.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2007. **Subregiones Hidrológicas, escala 1:250000. República Mexicana**. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1997. **Provincias biogeográficas de México**. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2004. **Regiones Terrestres Prioritarias**. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2019. **Áreas Naturales Protegidas y Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación**. Consultado en: <https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/areas-destinadas-voluntariamente-a-la-conservacion>
- Correa-Cano, M., L. Ochoa-Ochoa, O. Flores-Villela, U. García-Vázquez, L. Canseco-Márquez. 2006a. **Crotalus atrox (Víbora cascabel de diamantes). Área de distribución potencial**. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- Correa-Cano, M., L. Ochoa-Ochoa, O. Flores-Villela, U. García-Vázquez, L. Canseco-Márquez. 2006b. **Crotalus cerastes (Víbora cascabel cornuda). Área de distribución potencial**. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

- Correa-Cano, M., L. Ochoa-Ochoa, O. Flores-Villela, U. García-Vázquez, L. Canseco-Márquez. 2006c. ***Crotalus enyo* (Víbora cascabel bajacaliforniana). Área de distribución potencial.** Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- Correa-Cano, M., L. Ochoa-Ochoa, O. Flores-Villela, U. García-Vázquez, L. Canseco-Márquez. 2006d. ***Crotalus mitchellii* (Víbora cascabel moteada). Área de distribución potencial.** Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- Correa-Cano, M., L. Ochoa-Ochoa, O. Flores-Villela, U. García-Vázquez, L. Canseco-Márquez. 2006e. ***Crotalus oreganus* (Víbora cascabel occidental). Área de distribución potencial.** Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- Correa-Cano, M., L. Ochoa-Ochoa, O. Flores-Villela, U. García-Vázquez, L. Canseco-Márquez. 2006f. ***Crotalus exsul* (Víbora cascabel de Isla Cedros). Área de distribución potencial.** Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- Cruz-Sáenz, D., E. S. García-Mata, L. D. Wilson, J. S. Rodríguez-Alcázar, J. M. Rodríguez-Canseco, A. Bombela-Cruz y J. A. Carlos-Gómez. 2018. **Herpetofaunal road mortality in the municipality of Cuauhtémoc, Colima, Mexico.** Mesoamerican Herpetology. Vol. 5. No. 1. 199-201 pp.
- Díaz Hernández, R. E. 2018. **Vulnerabilidad y riesgo como conceptos indisociables para el estudio del impacto del cambio climático en la salud.** REGIÓN Y SOCIEDAD. AÑO XXX / NO. 73. 33 pp.
- Elith, J., S. J. Phillips, T. Hastie, M. Dudik, Y. E. Chee y C. J. Yates. 2011. **A statistical explanation of MaxEnt for ecologists.** Diversity and distributions. 43–57 pp. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- Fernández, P. y J. M. Gutiérrez. 2008. **Mortality due to snakebite envenomation in Costa Rica (1993–2006).** Toxicon 52. 530–533 pp.
- Flores-Villela, O. y U. O. García-Vázquez. 2014. **Biodiversidad de reptiles.** Revista Mexicana de Biodiversidad, Supl. 85: S467-S475. DOI: 10.7550/rmb.43236.

- Florescano, E. 2012. **Quetzalcóatl y los mitos fundadores de Mesoamérica**. Santillana Ediciones Generales, S.A. de C.V., México, D.F, 375 pp
- Frost, D.R., G. A. Hammerson y G. Santos-Barrera. 2007. ***Crotalus atrox***. The IUCN Red List of Threatened Species 2007: e.T64311A12763519. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T64311A12763519.en>
- Frost, D. R., G. A. Hammerson y H. Gadsden. 2007a. ***Crotalus cerastes***. The IUCN Red List of Threatened Species 2007: e.T64315A12764960. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T64315A12764960.en>
- Frost, D.R., G. A. Hammerson y H. Gadsden. 2007b. ***Crotalus mitchellii***. The IUCN Red List of Threatened Species 2007: e.T64323A12768039. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T64323A12768039.en>
- García, E. y CONABIO. 1998. **Climas**. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- Garcillán, P. P., C. González-Abraham y E. Ezcurra. 2012. **Phytogeography, vegetation and ecological regions**. 22-33 pp. En: Baja California Plant Field Guide. Rebman, J. P. y N. C. Roberts. San Diego Natural History Museum. 3rd edition Sunbelt Publications. 450 pp.
- Garduño, E. 2017. **Cartografía simbólica sobre el territorio tradicional de los kumiai**. Desacatos 55. 90-109 pp.
- GeoComunes. 2015a. **TERRITORIOS DE PUEBLOS INDÍGENAS**. Obtenido de: http://132.248.14.102/layers/CapaBase:ii_4_3_terri_indigena el 10 febrero 2019.
- GeoComunes. 2015b. **CONCESIONES MINERAS 2015**. Obtenido de: http://132.248.14.102/layers/CapaBase:3_1_1_conces_mineras_2015 el 10 febrero 2019.
- Gil-Alarcón, G., M. C. Sánchez-Villegas y V. H. Reynoso. 2011. **Tratamiento prehospitalario del accidente ofídico: revisión, actualización y problemática actual**. Gaceta Médica de México. 147:195-208 pp.
- González-Abraham, C. E., P. P. Garcillán, E. Ezcurra y El Grupo de Trabajo de Ecorregiones. 2010. **Ecorregiones de la Península de Baja California: una síntesis**. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 87: 69-82 pp.
- González-Rivera, A., P. Chico-Aldama, W. Domínguez-Viveros, M. L. Iracheta-Gerez, M. López-Alquicira, A. Cuellar-Ramírez y V. Zamora. 2009. **Epidemiología de las mordeduras por serpiente. Su simbolismo**. Acta Pediátrica Mexicana. 30(3):182-191 pp.

- Grismer, L. L. 2002. **The amphibians and reptiles of Baja California, its Pacific islands, and the islands in the Sea of Cortes: natural history, distribution and identification.** University of California Press, Berkeley. 409 pp.
- Guevara, M. y C. E. Arroyo-Cruz. 2016. **Modelo digital de elevaciones sin oquedades resolución 1km, escala: 1:4000000. edición: 1.** Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- Guisan, A., R. Tingley, J. B. Baumgartner, I. Naujokaitis-Lewis, P. R. Sutcliffe, A. I. T. Tulloch, T. J. Regan, L. Brotons, E. McDonald-Madden, C. Mantyka-Pringle, T. G. Martin, J. R. Rhodes, R. Maggini, S. A. Setterfield, J. Elith, M. W. Schwartz, B. A. Wintle, O. Broennimann, M. Austin, S. Ferrier, M. R. Kearney, H. P. Possingham, y Y. M. Buckley, 2013. **Predicting species distributions for conservation decisions.** Ecology Letters. 16: 1424–1435.
- Gutiérrez J. M., R. D. G. Theakston y D. A. Warrell. 2006. **Confronting the Neglected Problem of Snake Bite Envenoming: The Need for a Global Partnership.** PLoS Medicine 3(6): e150. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0030150>
- Gutiérrez, J. M. 2014. **Current challenges for confronting the public health problem of snakebite envenoming in Central America.** Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases. 20:7. 9 pp.
- Hammerson, G.A., D. R. Frost y B. Hollingsworth. 2007a. ***Crotalus oreganus*.** The IUCN Red List of Threatened Species 2007: e.T64326A12769216. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T64326A12769216.en>
- Hammerson, G.A., D. R. Frost y B. Hollingsworth. 2007b. ***Crotalus ruber*.** The IUCN Red List of Threatened Species 2007: e.T64331A12771154. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T64331A12771154.en>
- Hansson, E., M. Sasa, K. Mattisson, A. Robles, J. M. Gutiérrez. 2013. **Using Geographical Information Systems to Identify Populations in Need of Improved Accessibility to Antivenom Treatment for Snakebite Envenoming in Costa Rica.** PLoS Neglected Tropical Diseases 7(1): e2009. doi:10.1371/journal.pntd.0002009
- Harrison, R. A., A. Hargreaves, S. C. Wagstaff, B. Faragher, D. G. Lalloo. 2009. **Snake Envenoming: A Disease of Poverty.** PLoS Neglected Tropical Diseases 3(12): e569. doi:10.1371/journal.pntd.0000569
- Harrison, R. A. y J. M. Gutiérrez. 2016. **Priority Actions and Progress to Substantially and Sustainably Reduce the Mortality, Morbidity and Socioeconomic Burden of Tropical Snakebite.** Toxins. 8, 351. 14 pp; doi:10.3390/toxins8120351

- Hirzel, A. H., y G. Le. Lay. 2008. **Habitat suitability modelling and niche theory**. Journal of Applied Ecology. Vol. 45 Issue 5. 1372–1381 pp. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01524.x>
- Hollingsworth, B. y D. R. Frost. 2007. **Crotalus enyo**. The IUCN Red List of Threatened Species 2007: e.T64316A12765256. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T64316A12765256.en>
- Howell, S. N. G., R. A. Erickson, R. A. Hamilton y M.A. Patten. 2001. **An annotated checklist of the Birds of Baja California y Baja California Sur**. Monographs in Field Ornithology 3:171-203 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. **Áreas Geoestadísticas Municipales, 2010**. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014a. **Red Vial. Red Nacional de Caminos (RNC) INEGI**. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014b. **Conjunto de datos vectoriales edafológico, escala 1:250000 Serie II. (Continuo Nacional)**. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016a. **Área geoestadística básica rural, censo 2015**. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016b. **Área geoestadística básica urbana, censo 2015**. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016c. **Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VI (continuo nacional)**. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2017a. **Anuario estadístico y geográfico de Baja California 2017**. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 423 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2017b. **Anuario estadístico y geográfico de Baja California Sur 2017**. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 412 pp.

- IPCC. 2012. **Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation**. A special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: IPCC.
- Karger, D.N., O. Conrad, J. Böhrner, T. Kawohl, H. Kreft, R.W. Soria-Auza, N.E. Zimmermann, H.P. Linder y M. Kessler. 2017 **Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas**. Scientific Data 4, 170122.
- Kasturiratne A, A. R. Wickremasinghe, N. de Silva, N. K. Gunawardena, A. Pathmeswaran, R. Premaratna, L. Savioli, D. G. Lalloo, H. J. de Silva. 2008. **Estimating the global burden of snakebite: A literature analysis and modelling based on regional estimates of envenoming and deaths**. PLoS Medicine 5(11): e218. doi:10.1371/journal.pmed.0050218
- Kasturiratne A., A. Pathmeswaran, A. R. Wickremasinghe, S. F. Jayamanne, A. Dawson, G. K. Isbister, H. J. de Silva, D. G. Lalloo. 2017. **The socio-economic burden of snakebite in Sri Lanka**. PLoS Neglected Tropical Diseases 11(7): e0005647. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005647>
- Larsen, P. y J. Springer. 2008. **Implementación de los Principios de WWF sobre Pueblos Indígenas y Conservación en la Gestión de Proyectos y Programas (Mainstreaming WWF Principles on Indigenous Peoples and Conservation in Project and Programme Management)**. Gland, Suiza y Washington, DC. WWF. 55 pp.
- Lazcano, D., D. B. Esquivel Arévalo, A. I. Heredia Villarreal, J. A. García Salas, B. Navarro-Velázquez, y M. Nevárez-de los Reyes. 2017. **Notes on Mexican herpetofauna 31: Are roads in Nuevo León, Mexico, taking their toll on snake populations? (Part II)**. Bulletin of the Chicago Herpetological Society. 52: 185–194 pp.
- Lazcano, D., A. Salinas-Camarena, y J. A. Contreras-Lozano. 2009. **Notes on Mexican herpetofauna 12: Are roads in Nuevo León, Mexico, taking their toll on snake populations?** Bulletin of the Chicago Herpetological Society 44: 69–75 pp.
- Lobo, J. M., A. Jiménez-Valverde, y J. Hortal. 2010. **The uncertain nature of absences and their importance in species distribution modelling**. Ecography, 33(1), 103–114 pp. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.06039.x>
- Longbottom, J., F. M. Shearer, M. Devine, G. Alcoba, F. Chappuis, D. J. Weiss, S. E. Ray, N. Ray, D. A. Warrell, R. Ruiz de Castañeda, D. J. Williams, S. I. Hay, D. M. Pigott. **Vulnerability to snakebite envenoming: a global mapping of hotspots**. Lancet. 392: 673–84. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31224-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31224-8).

- López del Toro, P., E. Andresen, L. Barraza y A. Estrada. 2009. Attitudes and knowledge of shade-coffee farmers towards vertebrates and their ecological functions. *Tropical Conservation Science*. Vol. 2(3). 299-318 pp.
- Lovich, R. E., L. L. Grismer y G. Danemann. 2009. **Conservation status of the herpetofauna of Baja California, México and associated islands in the sea of Cortez and Pacific Ocean**. *Herpetological Conservation and Biology* 4(3):358-378 pp.
- Luna-Trejo, J., A. Carbajal-Saucedo y R. Vaca-Paulín. 2019. **ANÁLISIS EPIDEMIOLÓGICO POR MORDEDURA DE VÍBORAS EN EL ESTADO DE MÉXICO**. 2do. Congreso Nacional de Vipéridos Mexicanos y Ofidismo. Ponencia oral.
- Maciel Mata, C. 2017. **Caracterización de la estructura de nicho ecológico de la lagartija *Sceloporus minor* (Squamata: Phrynosomatidae): evaluación sobre atributos de historia de vida**. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Mackessy, S. P. 2010. **Handbook of Venoms and Toxins of Reptiles**. CRC Press, Taylor & Francis Group. 530 pp.
- Martínez-Meyer, E., D. Díaz-Porras, A. T. Peterson y C. Yáñez-Arenas. 2013. **Ecological niche structure and rangewide abundance patterns of species**. *Biology Letters*, 9(1). <https://doi.org/10.1098/rsbl.2012.0637>
- Martínez-Vaca León, O. I. y X. López Medellín. 2019. Serpientes, un legado ancestral en riesgo. *CIENCIA ergo-sum*. Vol. 26. No. 2. 10 pp.
- Meik, J. M., S. Schaack, O. Flores-Villela y J. W. Streicher. 2018. **Integrative taxonomy at the nexus of population divergence and speciation in insular speckled rattlesnakes**. *Journal of Natural History*. 28 pp. <https://doi.org/10.1080/00222933.2018.1429689>
- Ministerio de Salud Pública (MSP). 2008. **Manual de normas y procedimientos sobre prevención y tratamiento de accidentes ocasionados por mordeduras de serpientes**. Dirección de Normatización del Sistema Nacional de Salud. Ecuador. 60 pp.
- Nahuel, J. 2009. **Los Pueblos indígenas y las áreas protegidas por el pleno control de sus territorios. De Bariloche a Barcelona**. Neuquén Argentina. 80 pp.
- NatureServe y UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 2007a. ***Crotalus atrox***. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-1. Descargado el 29 de abril del 2019. En: <https://www.iucnredlist.org>.

- NatureServe y UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 2007b. ***Crotalus cerastes***. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-1. Descargado el 29 de abril del 2019. En: <https://www.iucnredlist.org>.
- NatureServe y UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 2007c. ***Crotalus enyo***. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-1. Descargado el 29 de abril del 2019. En: <https://www.iucnredlist.org>.
- NatureServe y UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 2007d. ***Crotalus mitchellii***. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-1. Descargado el 29 de abril del 2019. En: <https://www.iucnredlist.org>.
- NatureServe y UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 2007e. ***Crotalus oreganus***. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-1. Descargado el 29 de abril del 2019. En: <https://www.iucnredlist.org>.
- NatureServe y UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 2007f. ***Crotalus ruber***. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-1. Descargado el 29 de abril del 2019. En: <https://www.iucnredlist.org>.
- Nori, J., P. A. Carrasco y G. C. Leynaud. 2013. **Venomous snakes and climate change: Ophidism as a dynamic problem**. Climatic Change. DOI 10.1007/s10584-013-1019-6
- Ochoa-Ochoa, L. M. y O. Flores-Villela. 2006. **Áreas de diversidad y endemismo de la herpetofauna mexicana**. Universidad Nacional Autónoma de México/ Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. 211 pp.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2018. **Mordedura de serpientes venenosas**. Consultado en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/snakebite-envenoming>
- O'Shea, M. 2005. **Venomous snakes of the world**. New Holland. London. 160 pp.
- Paredes-García, D. M., Ramírez-Bautista, A., y Martínez-Morales, M. A. 2011. **Distribución y representatividad de las especies del género *Crotalus* en las áreas naturales protegidas de México**. Revista mexicana de biodiversidad, 82(2), 689-700 pp.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC). 2007. **Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático** [Equipo de redacción principal: R.K. Pachauri y A. Reisinger (directores de la publicación)], IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pp.

- Peterson, A. T., y J. Soberón. 2012. **Species Distribution Modeling and Ecological Niche Modeling : Getting the Concepts Right**. *Natureza & Conservação* 10(2). 102–107 pp.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson y R. E. Schapire. 2006. **Maximum entropy modeling of species geographic distributions**. *Ecological Modelling* 190. 231–259 pp. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Plissock, P. y T. Fuentes-Castillo. 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.
- Ramírez-Acosta, J., A. Castellanos, G. Arnaud, A. Breceda y O. Rojas-Soto. 2012. **Conservation of Endemic Terrestrial Vertebrates in the Protected Areas of the Baja California Peninsula, Mexico**. *Natural Areas Journal* Volume 1. 32:15–30 pp.
- Rangel, T. F., y R. D. Loyola. 2012. **Labeling Ecological Niche Models**. *Natureza & Conservação* 10(2), 119–126 pp.
- Reati, G. J. (coord.). 2013. **Ofidismo en la provincia de Córdoba: Guía para profesionales de la salud**. Grupo Editor Encuentro. Argentina. 96 pp.
- Rodríguez-Colín, J. y A. Carbajal-Saucedo. 2019. **PANORAMA EPIDEMIOLÓGICO DEL ACCIDENTE OFÍDICO EN EL ESTADO DE HIDALGO**. 2do. Congreso Nacional de Vipéridos Mexicanos y Ofidismo. Ponencia oral.
- Ruiz-Mondragón, E. J., G. Romero-Figueroa, M. A. García-Aranda, E. A. Lozano-Cavazos y R. Valdez. 2018. **Potential distribution model of *Ovis canadensis* in northern Baja California, Mexico**. *Therya*. Vol. 9 (3): 219-226 pp.
- Sandoval Orozco, E. 2019. **Desarrollo de antivenenos mexicanos**. 2do. Congreso Nacional de Vipéridos Mexicanos y Ofidismo. Ponencia Magistral.
- Secretaría de Gobernación (SEGOB). 2016. **Decreto del Área Natural Protegida Reserva de la Biósfera Islas del Pacífico de la Península de Baja California**. Diario Oficial de la Federación
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. **Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo**. Diario Oficial de la Nación.

- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2013. **Unidades de Manejo para el Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre 2010**. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2017. **Áreas Naturales Protegidas Federales de México. Noviembre 2017**. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2018. **Importancia de las UMAs**. Consultado en: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/las-uma-sitios-dedicados-a-la-conservacion-de-la-vida-silvestre>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2018. **Programa de Acciones para la Conservación de Especies (PACE): Serpientes de Cascabel (*Crotalus spp.*)**. SEMARNAT, CONANP. México, 145 pp.
- Secretaría de Salud (SSA). 2010. **Diagnóstico y tratamiento de las mordeduras de serpientes venenosas**. Guía de Práctica Clínica. Consejo de Salubridad General. 15 pp.
- Secretaría de Salud. 2018. **Boletín epidemiológico**. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. Sistema Único de Información. Dirección General de Epidemiología. No. 52, Vol. 35, Semana 52. 62 pp.
- Siria Hernández, C. G. y A. Arellano Bravo. 2009. **Mordeduras por serpiente venenosa: panorama epidemiológico en México**. Salud Pública de México, 51(2). 95-96 pp.
- Sistema de Información Cultural México (SIC). 2019. **Pueblos indígenas en Baja California**. Gobierno Federal. Consultado en: https://sic.cultura.gob.mx/lista.php?table=grupo_etnico&estado_id=2&municipio_id=-1
- Soberón, J. 2007. **Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species**. Ecology letters, 10(12), 1115–1123 pp.
- Soberón, J., L. Osorio-Olvera y T. Peterson. 2017. **Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución**. Revista Mexicana de Biodiversidad. No. 88. 437-441 pp.
- Soto Esperanza, M., C. Chiappy Jhones, L. Gama Campillo y L. Giddings. 2001. **Antropización del noroeste del país**. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

- Suárez Velázquez, A., y R. Luna Reyes. 2009. **Mordeduras por serpientes en Chiapas**. Instituto de Salud Pública de Chiapas/Régimen Estatal de Protección Social en Salud en Chiapas, Gobierno de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, 120 pp.
- Swets, J. A. 1988. **Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems**. Science, New Series, Vol. 240, No. 4857. 1285–1293 pp.
- Terán-Bracamonte, J. A. 2018. **Modelaje del nicho ecológico de los vectores de *Trypanosoma cruzi*, variables socioeconómicas y su riesgo potencial de la enfermedad de Chagas en la península de Baja California, México**. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California. 84 pp.
- Terrat, Y., K. Sunagar, B. G. Fry, T. N. W. Jackson, H. Scheib, R. Fourmy, M. Verdenaud, G. Blanchet, A. Antunes y F. Ducancel. 2013. ***Atractaspis aterrima* Toxins: The First Insight into the Molecular Evolution of Venom in Side-Stabbers**. Toxins. Vol. 5, 1948-1964 pp. doi:10.3390/toxins5111948.
- Tôrres, N. M., P. De Marco, T. Santos, L. Silveira, A. T. de Almeida Jácomo y J. A. F. Diniz-Filho. 2012. **Can species distribution modelling provide estimates of population densities? A case study with jaguars in the Neotropics**. Diversity and Distributions, 18(6), 615–627 pp. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2012.00892.x>
- Uetz, P., P. Freed y J. Hošek. (eds.). 2019. The Reptile Database, <http://www.reptile-database.org>. accesada el 05 de Agosto del 2019.
- UICN. 2019. **La Lista Roja de especies amenazadas**. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Consultada en: <https://www.iucnredlist.org/>
- Universidad de Costa Rica (UCR). 2017. **OMS incluye los envenenamientos por mordedura de serpiente como enfermedad desatendida**. Instituto Clodomiro Picado. Consultado en: <http://www.icp.ucr.ac.cr/index.php/es/noticias/oms-incluye-los-envenenamientos-por-mordedura-de-serpiente-como-enfermedad-desatendida>
- Ureta, C., E. Martínez-Meyer, E. J. González, y E. R. Álvarez-Buylla. 2016. **Finding potential high-yield areas for Mexican maize under current and climate change conditions**. Journal of Agricultural Science, 154(5), 782–794. <https://doi.org/10.1017/S0021859615000842>
- Villalobos-Juárez, I. y J. J. Sigala-Rodríguez. 2019. **EL TRÁFICO ILEGAL DE VIPÉRIDOS EN MÉXICO**. 2do. Congreso Nacional de Vipéridos Mexicanos y Ofidismo. Ponencia oral.
- Vitt, L. J. y J. P. Caldwell. 2009. **Herpetology**. Academic Press, Elsevier. 3rd. Edition. University of Oklahoma. 694 pp.

- Wilches-Chaux, G. 1993. **La Vulnerabilidad Global**. En: Maskrey, A. 1993. Los desastres no son naturales. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. 11-44 pp.
- Willis, K. J., y R. J. Whittaker. 2002. **Species diversity - Scale matters**. Science. <https://doi.org/10.1126/science.1067335>
- Yáñez-Arenas, C., S. Mandujano, E. Martínez-Meyer, A. Pérez-Arteaga y A. González-Zamora. 2012a. **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. Vol.3(1). 67-79 pp.
- Yáñez-Arenas, C., E. Martínez-Meyer, S. Mandujano y O. Rojas-Soto. 2012b. **Modelling geographic patterns of population density of the white-tailed deer in central Mexico by implementing ecological niche theory**. Oikos, 121(12), 2081–2089. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2012.20350.x>
- Yáñez-Arenas, C. 2014. **Análisis temporal y geográfico del envenenamiento por mordedura de serpiente en Veracruz, México (2003-2012)**. Gaceta Médica de México. 150: Suppl. 1. 60-64 pp.
- Yáñez-Arenas, C., A. T. Peterson, P. Mokondoko, O. Rojas-Soto, Enrique Martínez-Meyer. 2014. **The Use of Ecological Niche Modeling to Infer Potential Risk Areas of Snakebite in the Mexican State of Veracruz**. PLOS ONE 9(6): e100957. doi:10.1371/journal.pone.0100957
- Yáñez-Arenas, C., A. T. Peterson, K. Rodríguez-Medina y N. Barve. 2015. **Mapping current and future potential snakebite risk in the new world**. Climatic Change. DOI 10.1007/s10584-015-1544-6
- Yáñez-Arenas, C., A. Yáñez-Arenas y D. Martínez-Ortíz. 2016. **Panorama epidemiológico de las mordeduras por serpiente venenosa en el estado de Yucatán, México (2003-2012)**. Gaceta Médica de México. 152:568-574 pp.

ANEXOS

Anexo 1. Variables bioclimáticas Chelsa-Climate

Bio1 = Annual Mean Temperature (temperatura media anual)

Bio2 = Mean Diurnal Range (rango diurno medio)

Bio3 = Isothermality (isotermalidad)

Bio4 = Temperature Seasonality (temporalidad de temperatura)

Bio5 = Max Temperature of Warmest Month (temperatura máxima del mes más caliente)

Bio6 = Min Temperature of Coldest Month (temperatura mínima del mes más frío)

Bio7 = Temperature Annual Range (rango anual de temperatura)

Bio8 = Mean Temperature of Wettest Quarter (temperatura promedio del cuarto más húmedo)

Bio9 = Mean Temperature of Driest Quarter (temperatura promedio del cuarto más seco)

Bio10 = Mean Temperature of Warmest Quarter (temperatura promedio del cuarto más caliente)

Bio11 = Mean Temperature of Coldest Quarter (temperatura promedio del cuarto más frío)

Bio12 = Annual Precipitation (precipitación anual)

Bio13 = Precipitation of Wettest Month (precipitación del mes más húmedo)

Bio14 = Precipitation of Driest Month (precipitación del mes más seco)

Bio15 = Precipitation Seasonality (temporalidad de la precipitación)

Bio16 = Precipitation of Wettest Quarter (precipitación del cuarto más húmedo)

Bio17 = Precipitation of Driest Quarter (precipitación del cuarto más seco)

Bio18 = Precipitation of Warmest Quarter (precipitación del cuarto más caliente)

Bio19 = Precipitation of Coldest Quarter (precipitación del cuarto más frío)