



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
IZTACALA**

**MODELOS DE NICHOS ECOLÓGICOS Y SU  
APLICACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS  
MIÓTIDOS (CHIROPTERA: VESPERTILIONIDAE)  
DE MÉXICO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO**

**DE:**

**B I Ó L O G O**

**P R E S E N T A:**

**EDGAR YAFHED MARTÍNEZ HERNÁNDEZ**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. GABRIEL  
GUTIÉRREZ GRANADOS**

**LOS REYES, IZTACALA, TLALNEPANTLA,  
EDO. DE MÉX. OCTUBRE 2020**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

Al Dr. Gabriel Gutiérrez Granados por darme la oportunidad de realizar mi tesis en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del Instituto de Biología, UNAM. Gracias por proporcionarme un espacio de trabajo y su asesoría al desarrollar este proyecto de tesis, así como los beneficios posteriores al formar parte de este grupo de trabajo. Al Proyecto PAPIIT RA206018 cuyo financiamiento fue fundamental para la realización de este trabajo de investigación.

Al Dr. Ángel Rodríguez Moreno, por su apoyo durante mi estancia en el laboratorio y el entrenamiento recibido en campo para trabajar con murciélagos y roedores, además de la inclusión en la participación de otros proyectos académicos.

Al comité asesor de este trabajo de investigación de la FES Iztacala conformado por la Dra. Sofía Solórzano, el Dr. Raymundo Ayala, el Dr. Rodolfo Collazo y la M. en C. Leticia Espinosa, cuyos comentarios y revisiones fueron de gran ayuda para el mejoramiento de este trabajo científico.

## AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A mi familia por apoyarme durante este proceso de formación académica, principalmente a mi madre y hermano quienes siempre han buscado la autosuperación en vías de una mejor calidad de vida, apoyándome en los momentos de mayor necesidad. Su perseverancia y fortaleza ante las adversidades son mi ejemplo a seguir. A mis tíos paternos, quienes siempre me han apoyado y cobijado desde que era un niño, por su apoyo incondicional y totalmente desinteresado por mi superación personal, gracias por apoyarme en los momentos mas generosos y difíciles como si fuera hijo suyo.

A la profesora Lety, por guiarme y acompañarme en este proceso, su iniciativa, carisma y humanidad me han permitido conocer lugares y poner en práctica todo lo aprendido en la facultad. Su confianza me ha permitido autosuperarme y motivarme a generar un futuro con proyectos innovadores y fructíferos. ¡Jamás habrá manera de agradecer todo lo que ha hecho por mí!

A mis compañeros de carrera de la FES Iztacala, por compartir grandes momentos de formación académica y personal. A Sonia, Juan Carlos, Ernesto (Erni), Ernesto (Sinaí), Carlos, demás amigos biólogos y no biólogos de esta facultad con quienes conviví en distintos tiempos y lugares, gracias por hacer de esta etapa de mi vida, una inolvidable experiencia. A mis compañeros de trabajo en UNIVERSUM (Selma, Miguel, Daniel, Paloma, David, entre otros) por compartir experiencias de estudiante y compañeros de museo. Por ayudar a darme cuenta de mis habilidades y defectos personales en esta etapa de esclavitud. A mis compañeros de trabajo del Jardín Botánico de la UNAM (Rodrigo, Vanessa, Óscar y Salma) por compartir la experiencia de trabajo en la universidad y mas allá de eso, por todo el apoyo moral que siempre recibí de ustedes. Me han dotado de visiones distintas de la biología y el mundo y una amistad invaluable. A mis compañeros de trabajo del programa PILARES, por dotarme de una visión interdisciplinaria del mundo y una concientización del mismo. A amigos de otros lugares y tiempos, con quienes compartí mucho conocimiento y experiencias.

A las comunidades de los estados del país, cuya humildad y cosmovisión me han hecho ver más allá del ojo científico.

A Emilia, por ayudarme a conocer lo mejor y lo peor de mí.

Existe placer en los bosques inexplorados,  
    existe éxtasis en una costa solitaria,  
    existe sociedad donde nadie perturba,  
en el océano profundo y música en su rugido,  
no amo menos al hombre, pero si más a la naturaleza...

-Lord George Gordon Byron

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

ÍNDICE.....	5
Lista de figuras .....	6
Lista de cuadros.....	8
RESUMEN.....	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 Diversidad de murciélagos.....	11
1.2 Diversidad del género <i>Myotis</i> .....	10
1.2.1 Género <i>Myotis</i> en América.....	12
1.2.2 Género <i>Myotis</i> en México.....	12
1.3 Modelos de nicho ecológico y distribución potencial.....	13
1.3.1 Aplicaciones.....	14
1.3.2 Enfermedades en murciélagos.....	15
1.3.3 Conservación.....	18
2. HIPÓTESIS.....	19
3. OBJETIVOS.....	20
3.1 Objetivo general.....	20
3.2 Objetivos particulares.....	20
4. MÉTODOS.....	21
4.1 Modelado de nicho ecológico.....	21
4.2 Análisis de similitud de nicho.....	21
5. RESULTADOS.....	22
5.1 Modelos de nicho ecológico y mapas de distribución potencial.....	22
5.2 Similitud de nicho .....	36
6. DISCUSIÓN.....	44
7. CONCLUSIONES.....	47
8. LITERATURA CITADA.....	48

## Lista de figuras

Figura 1. Diagrama conceptual de nicho ecológico (Diagrama BAM) .....	14
Figura 2. Diagrama conceptual de factores determinantes de la enfermedad.....	16
Figura 3. Patología del síndrome de nariz blanca ( <i>Pseudoagymnoascus destructans</i> ).....	17
Figura 4. Mapa de distribución geográfica del síndrome de nariz blanca ( <i>Pseudoagymnoascus destructans</i> ) a través de Norteamérica, periodo 2006-2018.....	19
Figura 5. Mapa de distribución potencial de <i>Myotis albescens</i> , <i>Myotis carteri</i> , <i>Myotis peninsularis</i> y <i>Myotis evotis</i> .....	25
Figura 6. Mapa de distribución potencial de <i>Myotis auricolus</i> , <i>Myotis ciliolabrum</i> , <i>Myotis planiceps</i> y <i>Myotis thysanodes</i> .....	27
Figura 7. Mapa de distribución potencial de <i>Myotis californicus</i> , <i>Myotis velifer</i> , <i>Myotis volans</i> y <i>Myotis yumanensis</i> .....	29
Figura 8. Mapa de distribución potencial de <i>Myotis keaysi</i> , <i>Myotis nigricans</i> y <i>Myotis occultus</i> .....	31
Figura 9. Mapa de distribución potencial de <i>Eptesicus fuscus</i> , <i>Myotis leibii</i> , <i>Myotis sodalis</i> y <i>Perimyotis subflavus</i> .....	33
Figura 10. Mapa de distribución potencial de <i>Myotis septentrionalis</i> , <i>Myotis lucifugus</i> y <i>Myotis grisescens</i> .....	35
Figura 11. Histograma de frecuencias para <i>Myotis grisescens</i> vs <i>Myotis thysanodes</i> .....	38

Figura 12. Histograma de frecuencias para *Myotis grisescens* vs *Myotis yumanensis*.....39

Figura 13. Histograma de frecuencias para *Myotis septentrionalis* vs *Myotis auriculus*.....41

Figura 14. Histograma de frecuencias para *Myotis septentrionalis* vs *Myotis californicus*.....42

Figura 15. Histograma de frecuencias para *Myotis septentrionalis* vs *Myotis peninsularis*.....43



## Lista de cuadros

Cuadro 1. Ajuste estadístico de los modelos de nicho ecológico para las especies infectadas con síndrome de nariz blanca y las especies mexicanas.....	22
Cuadro 2. Análisis de similitud de nicho ecológico y pruebas de hipótesis para <i>Myotis lucifugus</i> respecto a las 15 especies de miótidos mexicanos.....	36
Cuadro 3. Análisis de similitud de nicho ecológico y pruebas de hipótesis para <i>Myotis grisescens</i> respecto a las 15 especies de miótidos mexicanos.....	37
Cuadro 4. Análisis de similitud de nicho ecológico y pruebas de hipótesis para <i>Myotis septentrionalis</i> respecto a las 15 especies de miótidos mexicanos.....	40

## RESUMEN

Los murciélagos representan aproximadamente el 20% de todos los mamíferos a nivel global, debido a su amplia capacidad de dispersión y las interacciones con su medio, también son referidos como el grupo más diverso, abundante y disperso a escala mundial dentro de los vertebrados. Debido a las características que presentan estos organismos, también tienen la función de hospederos de una gran variedad de enfermedades infecciosas emergentes, como lo es el caso de la infección por el síndrome de nariz blanca (SNB). Esta enfermedad es provocada por el crecimiento de un hongo (*Pseudogymnoascus destructans*) causante de altas mortalidades en localidades de Norteamérica, afectando a distintas especies de murciélagos insectívoros que hibernan.

Las especies detectadas positivas en Norteamérica pertenecen a la familia Vespertilionidae y el 90% de las especies infectadas son del género *Myotis*, con 19 especies distribuidas en México y 5 de ellas presentes en alguna categoría de riesgo. Aunque la enfermedad no presenta precedentes en el país, existe la probabilidad de contagio en este grupo de especies mexicanas de murciélagos.

En el presente estudio se caracterizaron los modelos de nicho ecológico de las especies con diagnóstico positivo al síndrome de nariz blanca y las especies distribuidas en México mediante la comparación de la similitud de sus nichos ecológicos. Como resultado se obtuvieron los modelos para las especies de miótidos en México y las especies infectadas en Norteamérica y el análisis de similitud de nicho para la comparación de los modelos de las especies de murciélagos infectados (*M. lucifugus*, *M. grisescens*, *M. septentrionalis*) en relación a las mexicanas. Este análisis muestra similitud ambiental para algunas especies mexicanas, destacando a *M. thysanodes*, *M. yumanensis*, *M. auriculus*, *M. californicus* y *M. peninsularis*, por lo que se sugiere que en México existen sitios con probabilidad de riesgo para albergar a *P. destructans*.

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Diversidad de murciélagos

Los murciélagos (Orden Chiroptera) son los únicos mamíferos capaces de emprender un verdadero vuelo, con patrones de actividad nocturna o crepuscular y una amplia distribución geográfica (Neuweiler, 2000). Constituyen cerca de 1242 especies organizadas en 18 familias, equivalente a una cuarta parte de todos los mamíferos a nivel mundial representando el segundo grupo más abundante, solo superado por los roedores (Ceballos y Oliva, 2005; Simmons, 2005; IUCN, 2018).

Debido a las características de estos organismos, habitan cualquier ecosistema terrestre, cubriendo una amplia variedad de hábitos alimentarios y patrones de comportamiento (Calisher *et al.*, 2006). Esto a su vez define toda la diversidad de este grupo, encontrando murciélagos de numerosas formas y tamaños (Hutson *et al.*, 2001; Omatsu *et al.*, 2007; Mehlhorn *et al.*, 2014).

El Orden Chiroptera a su vez es dividido en dos grupos: el suborden Megachiroptera, integrada por 188 especies, también conocidos como zorros voladores distribuidos solo a regiones tropicales de Asia, Australia y África (Brock y Kunz, 2003; IUCN, 2018). Por otra parte, está el suborden Microchiroptera con 1054 especies con distribución cosmopolita que se caracterizan por tener una amplia gama de alimentación y sitios de ocupación y un elevado desarrollo de la ecolocalización (Nowak, 1999; Neuweiler, 2000; IUCN, 2018).

Es así, que los microquirópteros representan el grupo con mayor diversidad y éxito ecológico al desempeñarse como depredadores, dispersores de semillas, polinizadores y vectores o reservorios de enfermedades en distintos ecosistemas (Nowak, 1999). Debido a estas interacciones ecológicas, se ha reconocido a los murciélagos un grupo de organismos que aporta múltiples beneficios en aspectos ecológicos, económicos, médicos al humano (Delahay *et al.*, 2009).

En México existen un total de 138 especies de murciélagos distribuidas en 8 familias (Emballonuridae, Phyllostomidae, Mormoopidae, Noctilionidae, Natalidae, Molossidae y Vespertilionidae), conteniendo aproximadamente una cuarta parte de todos los mamíferos del país (Ceballos *et al.*, 2014). Lo anterior, es el resultado de la convergencia entre dos zonas

biogeográficas (región neártica y región neotropical), la complejidad topográfica y variedad de ecosistemas, con un total de 15 especies endémicas y 1 género endémico dentro de este grupo (*Musonycteris*) (Medellín *et al.*, 1997).

## 1.2 Diversidad del género *Myotis*

Los miótidos, es el nombre común con el que se conocen a las 112 especies del género *Myotis* que incluyen un grupo de murciélagos de la familia Vespertilionidae, clasificados dentro de la subfamilia Myotinae con un solo género (*Myotis*) (Nowak, 1999). Así mismo, conforma uno de los 5 géneros cosmopolitas de murciélagos vespertiliónidos, el cual solo está ausente en las regiones del ártico, subártico, las regiones antárticas y varias islas oceánicas (Fenton y Bocdanowics, 2002; Ceballos y Oliva, 2005). En este sentido, este grupo tiene la mayor distribución natural que cualquier otro género de mamífero terrestre a excepción del humano, representando el grupo más grande dentro de los quirópteros y con mayor número de especies entre todos los mamíferos (Ceballos *et al.*, 2014; IUCN, 2018).

De manera general, los miótidos abarcan una amplia variedad de hábitats usando durante el día en una gran variedad de sitios como refugios (minas, cavidades rocosas, edificios, cuevas, árboles) y durante la noche se alimentan de una gran variedad de artrópodos (Nowak, 1999). Durante el invierno, algunas especies realizan migraciones locales hacia otros sitios para hibernar y sobrevivir a los cambios ambientales durante esta estación (Barbour y Davis, 1969).

Los miótidos se diferencian de otros vespertiliónidos por la variación morfológica en la dentición, por ser de complexión pequeña y por presentar otros rasgos anatómicos y morfológicos (Neuweiler, 2000; Ruedi, 2001). Estos rasgos les permiten emprender un vuelo maniobrable en diferentes ambientes y su desempeñarse como forrajeros aéreos que se alimentan de presas en el aire o al detectar y evaluar presas blanco mediante ecolocalización (Findley, 1972). Debido a lo anterior, los miótidos representan una importancia ecológica y económica (Medellín *et al.*, 1997).

### 1.2.1 Género *Myotis* en América

En el continente americano, actualmente se encuentran reportadas 44 especies de murciélagos de este grupo, cuya distribución abarca distintos ambientes a lo largo de todo el continente (Wilson y Reeder, 2005; IUCN, 2018). La mayoría de las especies presenta una distribución a escala continental, sin embargo, para algunas especies la distribución está restringida a regiones específicas (Pearson, 1998; Fenton y Bohnadowics, 2002). Por ejemplo, *Myotis velifer* que presenta una escala semi-continental hasta *Myotis carteri* que habita una pequeña porción del Pacífico de México (Ceballos y Oliva, 2005).

### 1.2.2 Género *Myotis* en México

Para México actualmente están reportadas 19 especies del género *Myotis*, donde la mayoría de las especies presentan una distribución a distintas escalas y se caracterizan por ocupar zonas áridas, semiáridas, templadas y tropicales en los distintos estados del país (Ceballos *et al.*, 2014). De esta manera, los miótidos mexicanos se establecen en diferentes tipos de refugios con miles de individuos congregados, ocupando distintos nichos ecológicos a través del país (Medellín *et al.*, 1997). En México hay 5 especies de miótidos endémicos para el país (*M. carteri*, *M. planiceps*, *M. peninsularis*, *M. findleyi* y *M. vivesi*) (Ceballos *et al.*, 2014).

A pesar de presentar una alta riqueza de especies de miótidos, es poco conocido el estado de algunas de éstas, así como la detección de sitios donde habitan y su distribución actual (GBIF, 2017). Esto representa un problema grave al crear estrategias para la conservación de estas especies y para algunas especies (*Myotis occultus*) sólo se tienen pocos registros limitados a finales del siglo pasado (Ceballos *et al.*, 2014).

### 1.3 Modelos de nicho ecológico y distribución potencial

El nicho ecológico es un término que ha sido utilizado para describir el sitio donde existen las distintas condiciones que determinan la presencia de una especie, cuya aplicación ha sido vital para lidiar con diferentes problemas biológicos a través del tiempo (Peterson *et al.*, 2011). El concepto de nicho ha tenido múltiples interpretaciones, delimitado por los factores ambientales (Grinnell, 1917), por las interacciones biológicas (Elton, 1927) ó concebido como un hipervolumen de dimensiones que permiten su establecimiento (Hutchinson, 1957). Debido a lo anterior, es vital determinar una definición operacional y formal que ofrezca aproximaciones para caracterizar, medir y utilizar el nicho ecológico como base conceptual y metodológica para posteriores procesos (Peterson, 2006).

El modelado de nicho ecológico es una herramienta que pretende caracterizar los requisitos ambientales de las especies por medio de la asociación de la distribución geográfica conocida de éstas con datos de su ambiente a través de paisajes y regiones (Peterson *et al.*, 2011). Los factores que conforman el modelado involucran componentes abióticos (clima, radiación solar, topografía) y la delimitación geográfica que ha restringido la distribución de las especies (Warren, 2012).

De manera conceptual (Figura 1), la interacción entre los factores bióticos, abióticos y el espacio geográfico, representan el área donde está presente la especie y las regiones donde existen condiciones para su establecimiento, definida como el área de distribución invadible o potencial (Peterson *et al.*, 2011). Lo anterior, ofrece una aproximación para inferir los patrones de distribución a través de regiones potencialmente habitables para las especies, su análisis e interpretación y finalmente distintas formas de probar hipótesis bajo distintos escenarios biológicos (Gastón, 2003; Wisz *et al.*, 2008).

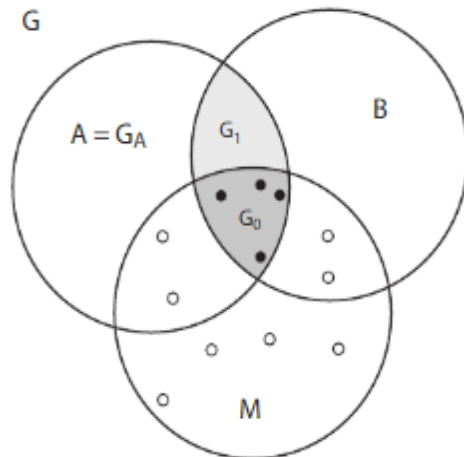


Figura 1. “Diagrama BAM”, herramienta conceptual que muestra la interacción entre los factores bióticos (B), factores abióticos (A) y el movimiento/dispersión (M). Cuatro áreas están representadas: El espacio geográfico (G) dentro del cual los análisis son desarrollados, al área abiótica disponible ( $G_A$ ), el área de distribución ocupada ( $G_0$ ) y el área de distribución invadible ( $G_1$ ). Los círculos indican datos de registro, de manera que los círculos sólidos representan las presencias y los círculos abiertos indican ausencias. Tomado de Peterson *et al.*, 2011.

Es así, que el modelado predictivo (Maxent, GARP, BIOCLIM) de la distribución de las especies se ha desarrollado con los sistemas de información geográfica, compaginando las dimensiones del nicho ecológico (registro geográfico de las especies, mapas digitales y capas ambientales) (Peterson *et al.*, 2011). Los modelos se visualizan a través de mapas que muestran la disponibilidad ambiental que permite el establecimiento de las especies en determinadas regiones (Peterson, 2006). Gracias al desarrollo de estos procesos, el modelado de nicho ha resultado ser una herramienta útil con potencial de aplicación al caracterizar adecuadamente el espacio ecológico en la distribución de las especies (Warren *et al.*, 2008).

### 1.3.1 Aplicaciones

Bajo los escenarios actuales y las diversas perturbaciones ambientales, distintas especies han resultado afectadas por la reducción de sus rangos históricos de distribución mediante la alteración de sus hábitats, trayendo como consecuencia la extinción de distintos grupos taxonómicos (Anderson *et al.*, 2004). Estas problemáticas exigen la resolución de distintos conflictos y el modelado matemático juega un papel importante en el desarrollo de diferentes procesos biológicos (Peterson, 2006). Es así, que la implementación de herramientas como

el modelado de nicho ecológico ofrece aproximaciones para una mejor y adecuada toma de decisiones en los distintos campos de aplicación (Smith *et al.*, 2009).

El modelado de nicho ecológico es una herramienta implementada con distintos enfoques de aplicación, dirigiendo estas aproximaciones a diversas problemáticas biológicas en múltiples escalas y utilizada en varios tópicos (Peterson, 2006; Warren *et al.*, 2008). Algunos de los usos de esta herramienta han sido determinar los requerimientos ecológicos de las especies, análisis de distribución y barreras de dispersión, descubrimiento de especies desconocidas y la planeación de estrategias de conservación bajo escenarios de cambio climático y pérdida de biodiversidad (Pearson *et al.*, 2006; Broennimann *et al.*, 2012).

A pesar del amplio espectro de aplicación del modelado de nicho ecológico, existen diversas limitantes en su implemento, como la disponibilidad de información geográfica de las especies, la resolución de las capas ambientales y geográficas y los distintos ambientes a modelar (Newbold, 2010). Además del uso de información es necesario su análisis a través de algoritmos, donde MaxEnt y sus características, han permitido representar adecuadamente el nicho ecológico de las especies, además de su aceptación científica y una amplia utilización (Phillips *et al.*, 2006). Aunque la ausencia de estas fuentes de información limita el uso eficaz de esta herramienta, lo más importante es definir la problemática biológica en relación a los objetivos de cada investigación (Peterson, 2006).

### 1.3.2 Enfermedades en murciélagos

En los últimos años se ha documentado que la distribución geográfica de algunas especies de murciélagos ha decrecido debido a enfermedades zoonóticas que afectan a sus poblaciones y a otras especies (Delahay *et al.*, 2009). Para el establecimiento de una enfermedad, existen distintos factores que permiten su incubación, definido por la presencia del hospedero, sus propiedades intrínsecas y el ambiente favorable para su desarrollo, cuya interacción determina su presencia (Figura 2) (Delahay *et al.*, 2009). El análisis de estos componentes permite conocer de manera detallada el establecimiento de las regiones con mayor susceptibilidad a distintas patologías en diferentes especies de mamíferos con riesgo de infección (Delahay *et al.*, 2009).



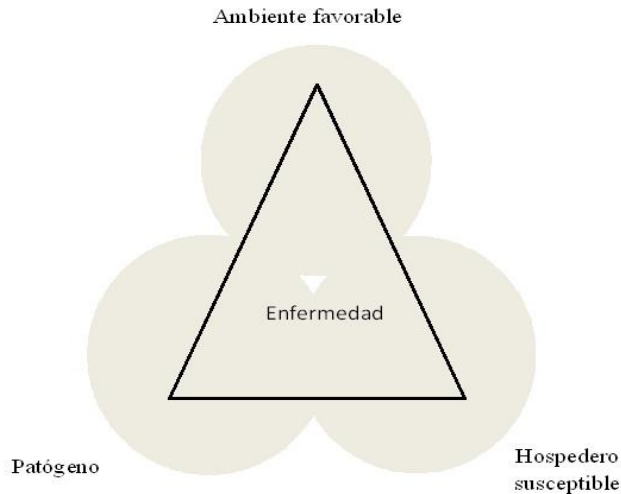


Figura 2. “El triángulo de la enfermedad” muestra los factores necesarios para el adecuado desarrollo de una enfermedad, la intersección entre la presencia del hospedero y el patógeno además de la inclusión del ambiente favorable permite su establecimiento. Tomado de Van der Plank, 1963.

Más recientemente, el síndrome de nariz blanca (SNB) es una enfermedad infecciosa establecida recientemente en Norteamérica causante de altas mortalidades en distintas especies de murciélagos insectívoros (Puechmaille *et al.*, 2010; Blehert *et al.*, 2011).

El SNB es una enfermedad resultado del crecimiento de un hongo psicrófilo (*Pseudoagymnascus destructans*) que coloniza la piel del hospedero, de apariencia blanca en la nariz, orejas y alas de los individuos infectados (Figura 3) (Wibbelt *et al.*, 2010). El desarrollo dentro de los tejidos y membranas ocasiona un daño funcional que compromete las reservas de grasa, el microbiota bacteriano, la respuesta inmune, el aporte de oxígeno a los tejidos y la posterior necrosis de los mismos, desembocando finalmente en la muerte del individuo (Meteyer *et al.*, 2009; Cryan *et al.*, 2010). Esta enfermedad ha representado un problema grave debido a su incubación en cuevas y su asociación a los murciélagos vespertiliónidos (Weller *et al.*, 2009).

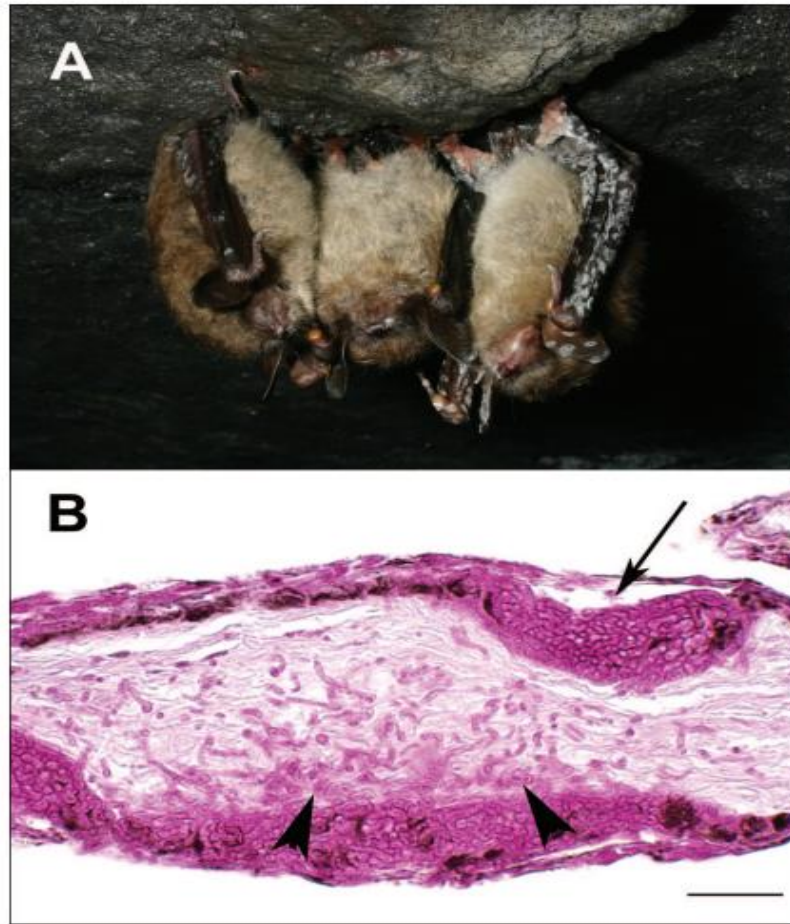


Figura 3. Efectos del síndrome de nariz blanca sobre las alas, nariz y orejas de color blanco en murciélagos infectados (A), así como un corte histológico de tejido de los murciélagos mostrando la infección fúngica por *P. destructans* en distintas capas celulares (B). Tomado de Blehert *et al.*, 2011.

El síndrome de nariz blanca es la primer epizoonosis documentada en murciélagos con origen en el continente europeo, sin embargo, no había tenido efectos tan agresivos como la infección en Norteamérica, que ha ocasionado extinciones locales (Martínkova *et al.*, 2010; Puechmaille *et al.*, 2010). Esta enfermedad se ha detectado actualmente en 7 especies de vespertiliónidos norteamericanos, cuya infección a ocasionando severos problemas ecológicos y económicos debido a su expansión geográfica (Foley *et al.*, 2010). En este sentido, la exposición a los ambientes donde el hongo está presente amenaza potencialmente a más del 20% de toda la diversidad de murciélagos, por lo que es necesario comprender esta zoonosis única en mamíferos (Puechmaille *et al.*, 2010; Langwig *et al.*, 2012).

### 1.3.3 Conservación

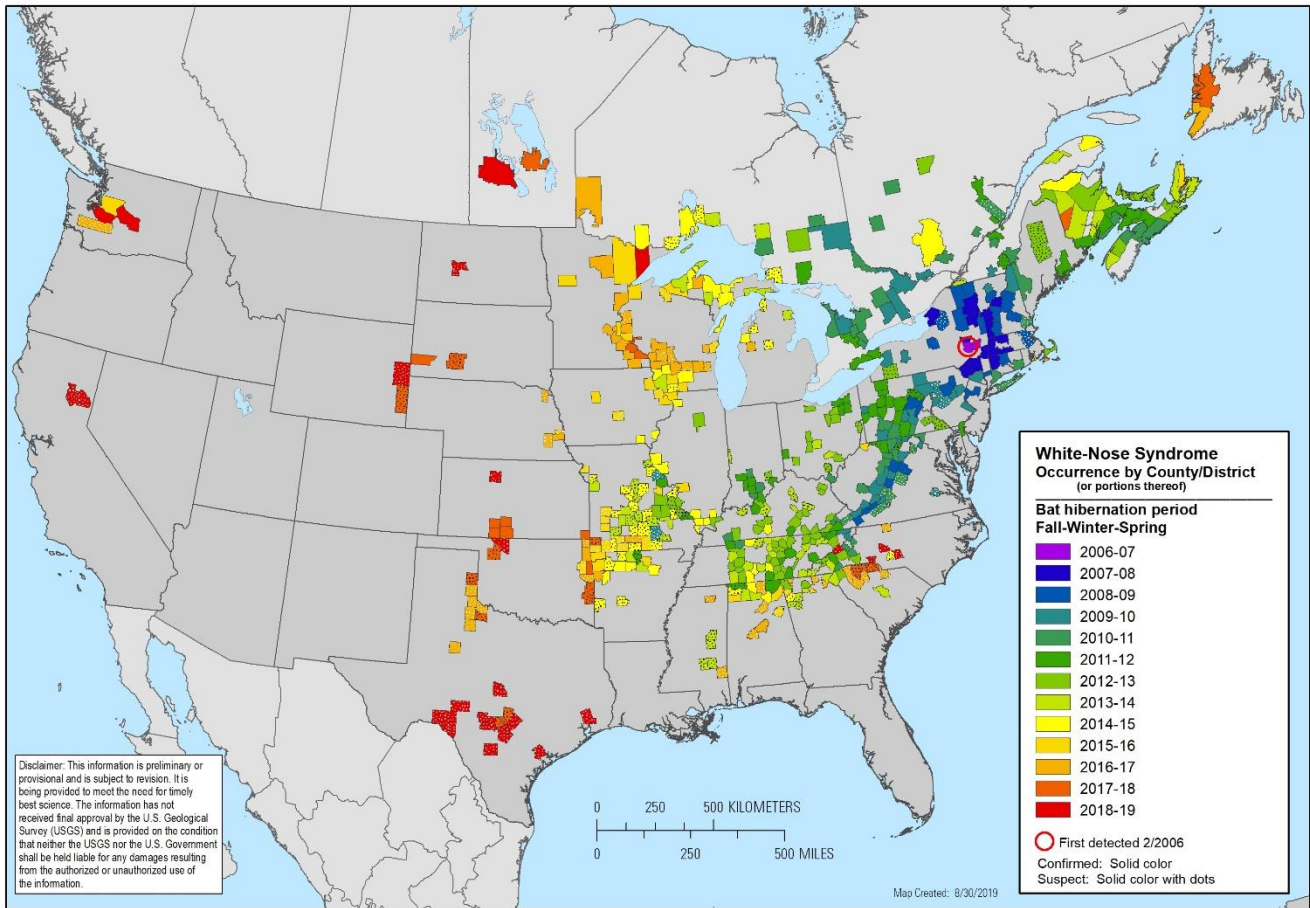
La conservación de las especies en vida silvestre es un campo de estudio que se rige principalmente por diversos factores relacionados con la percepción, utilización y valoración de las especies a través de la sociedad y las autoridades en distintos campos (Altringham, 1996). De esta manera se delimita su protección, aunado a los riesgos implícitos que competen los ámbitos políticos, económicos y biológicos que finalmente determinan la supervivencia de las especies y su estado de conservación (Groombridge, 1993).

Actualmente una cuarta parte de todas las especies de mamíferos están considerados en peligro de extinción debido a la acelerada tasa de pérdida de la biodiversidad y por la constante expansión de la población humana (Breed *et al.*, 2009). Es así que existe la necesidad de salvaguardar los ecosistemas a los que pertenecen y sus funciones en ellos, así como el desarrollo de estrategias a distintos niveles para su protección ya que representan un valor particular como indicadores del estado de los ecosistemas (Delahay *et al.*, 2009). En este sentido, los murciélagos han servido como especies clave para la planeación de iniciativas de conservación, asumiendo que al protegerlos se salvaguardan los hábitats a los que ellos y muchas otras especies pertenecen (Altringham, 2011; Tuttle, 2013).

Aproximadamente el 25% de las especies de murciélagos se encuentran globalmente amenazadas, ya sea por actividad humana como los exterminios locales, vandalismo, espeleología, uso de pesticidas, urbanización y pérdida de identidad biocultural (Hutson *et al.*, 2001; Bexel y Feng, 2013). También influyen factores biológicos como la introducción de especies exóticas, bajos números poblacionales y la distribución restringida de las especies (Barbour y Davis, 1969). Estos factores en conjunto han ocasionado la ubicación en distintas categorías de riesgo para las especies de murciélagos, con altas probabilidades de desaparecer en los próximos años (IUCN, 2018).

El estado de conservación de las especies de murciélagos infectados por el síndrome de nariz blanca se ha visto desfavorecida debido a la rápida dispersión del hongo desde su aparición en 2006, a través de Estados Unidos y Canadá (Figura 4) (U.S Fish and Wildlife Service, 2012; Lorch *et al.*, 2013). Esta situación compromete a un número cada vez mayor de murciélagos en riesgo de contagiarse debido a la constante expansión geográfica de esta

enfermedad y las características ambientales que han permitido su establecimiento (Boyles y Willis, 2009; Hallam y Federico, 2012).



Citation: White-nose syndrome occurrence map - by year (2019). Data Last Updated: 8/30/2019. Available at: <https://www.whitenosesyndrome.org/static-page/wns-spread-maps>.

Figura 4. Dispersión del síndrome de nariz blanca a lo largo Estados Unidos y Canadá durante el periodo 2006-2019. Tomado de <https://www.whitenosesyndrome.org/resources/map>.

## HIPÓTESIS

De acuerdo a la similitud de nicho ecológico entre las especies de miótidos en México y las especies en Estados Unidos de América, se espera predecir el establecimiento del Síndrome de nariz blanca en sitios potenciales de México.

## OBJETIVOS

### 3.1 Objetivo General

Evaluar la similitud de nicho ecológico de 15 especies de miótidos de México y 3 de las especies infectadas con síndrome de nariz blanca (*Myotis lucifugus*, *Myotis grisescens* y *Myotis septentrionalis*) en Estados Unidos de América para determinar la susceptibilidad de los miótidos de México al establecimiento del síndrome de nariz blanca.

### 3.2 Objetivos Particulares

Modelar el nicho ecológico de 22 especies de miótidos (15 especies en México y 7 especies en Estados Unidos de América) para conocer su distribución potencial.

Comparar la similitud de nicho ecológico de 15 especies de miótidos mexicanos contra 3 de las especies infectadas en Estados Unidos de América para determinar la susceptibilidad de infección por síndrome de nariz blanca en regiones de México.

El presente estudio fue delimitado al análisis de los modelos de nicho ecológico de los murciélagos del género *Myotis*, debido a la gran afinidad de la enfermedad por este grupo. Solo se consideraron 15 de las 19 especies del género (*Myotis vivesi*, *Myotis findleyi*, *Myotis fortidens* y *Myotis elegans*, son las especies que no se consideraron) que, debido a su distribución, pueden interactuar con el hongo.

Así mismo para el análisis de similitud de nicho solo se consideraron 3 especies con distribución en Estados Unidos de América (*Myotis lucifugus*, *Myotis grisescens*, *Myotis septentrionalis*), debido a los patrones de distribución (norte-sur, sureste y noreste de Estados Unidos de América, respectivamente) que presentan.

## MÉTODOS

### 4.1 Modelado de nicho ecológico

Se realizaron los modelos de nicho ecológico de las especies que se encuentran con diagnóstico positivo al síndrome de nariz blanca en Estados Unidos de América y las 15 especies de miótidos en México. Se obtuvieron los registros georreferenciados de todas las especies de miótidos a partir del portal del Global Facility Biodiversity (GBIF, 2016) <http://www.gbif.org>. Después de realizar una depuración de las bases de datos que consistió en eliminar registros sin coordenadas geográficas y con incorrecta identificación taxonómica, se usó ArcGIS 10.1.4 (ESRI, 2010) para eliminar los registros mal georreferenciados y aquellos que no coincidían con la distribución actual de cada especie.

Para la construcción de los modelos se utilizaron las capas bioclimáticas provistas por Worldclim (19 variables bioclimáticas y altitud; <http://www.worldclim.org>) para crear las predicciones a través del algoritmo de Máxima Entropía (MaxEnt) (Phillips *et al*, 2016). El proceso anterior fue evaluado mediante el análisis ROC (Receiver operating characteristic) que describe la tasa de identificación correcta de presencias (especificidad) contra la tasa de identificación incorrecta de presencias (sensibilidad), dando origen al estadístico conocido como AUC (Area under the curve). El área bajo la curva permite describir el desempeño de cada modelo para poder evaluar su poder predictivo con valores de 0-1, así como la expresión geográfica que representa la presencia o ausencia de la especie en determinada región.

### 4.2 Análisis de similitud de nicho

Para el análisis de similitud de nicho se utilizó el métrico **D de Schoener**, que es derivado de 100 réplicas de los modelos contra las que se compara el modelo obtenido (Warren *et al*, 2010). Se compararon los modelos de nicho mediante el análisis de similitud de nicho para *M. lucifugus*, *M. septentrionalis* y *M. grisescens* en Estados Unidos de América contra las 15 especies de miótidos mexicanos utilizando la herramienta ENMTools (Warren *et al*, 2010). La finalidad de este análisis fue determinar si existen diferencias significativas entre las

distribuciones estadísticas de cada especie y el valor observado, permitiendo conocer si los nichos son similares o no.

Se consideraron estas 3 especies de murciélagos infectados con la enfermedad debido a los patrones de distribución que presentan *M. lucifugus* (norte-sur de Estados Unidos de América colindando con el norte de México), *M. grisescens* (noroeste de Estados Unidos de América) y *M. septentrionalis* (noreste-noroeste de Estados Unidos de América). Comparar estos ambientes distintos donde se ha manifestado el SNB es de gran importancia para determinar el grado de similitud de las regiones de México que podrían ser sitios potenciales al establecimiento del hongo.

Finalmente, el análisis de similitud de nicho ayudó a identificar las especies de miótidos en México con mayor susceptibilidad a presentar la enfermedad y las regiones potenciales, resultado de las condiciones ambientales que conforman los modelos comparados.

## RESULTADOS

### 5.1 Modelos de nicho ecológico y mapas de distribución potencial

Se obtuvieron los modelos de nicho ecológico para las 15 especies de miótidos mexicanos y las 3 especies infectadas con síndrome de nariz blanca en Estados Unidos de América. Todas las especies tuvieron diferente número de registros al final del proceso de depuración, lo que se refleja en su capacidad predictiva (Cuadro 1).

Cuadro 1. Número de registros iniciales y finales cada especie de murciélago durante el proceso de modelado. Así mismo, se muestran los valores del área bajo la curva (AUC) para la calibración de cada modelo. \*Modelos de nicho ecológico para las especies infectadas con síndrome de nariz blanca con distribución en Estados Unidos de América.

Especie de murciélago	Número de registros inicial en la base de datos GBIF	Número de registros al final de la limpieza de la base de datos GBIF	Valores del área bajo la curva (AUC)
<i>Myotis albescens</i>	113	26	0.93

<i>Myotis auriculus</i>	833	37	0.85
<i>Myotis carteri</i>	7	4	0.85
<i>Myotis californicus</i>	6036	270	0.85
<i>Myotis ciliolabrum</i>	3026	72	0.87
<i>Myotis evotis</i>	2956	14	0.71
<i>Myotis keaysi</i>	783	215	0.88
<i>Myotis nigricans</i>	955	167	0.87
<i>Myotis occultus</i>	805	2	0.50
<i>Myotis peninsularis</i>	167	17	0.93
<i>Myotis planiceps</i>	6	6	0.91
<i>Myotis thysanodes</i>	4387	85	0.76
<i>Myotis velifer</i>	10327	507	0.81
<i>Myotis volans</i>	5276	53	0.82
<i>Myotis yumanensis</i>	7624	124	0.79
<i>Eptesicus fuscus</i> *	17432	464	0.72
<i>Myotis grisescens</i> *	4562	154	0.94
<i>Myotis leibii</i> *	1290	49	0.79
<i>Myotis sodalis</i> *	4980	170	0.87
<i>Myotis lucifugus</i> *	15850	1248	0.79
<i>Myotis septentrionalis</i> *	2152	158	0.87
<i>Perimyotis subflavus</i> *	5713	866	0.81

Como puede observarse en el Cuadro 1, existe una reducción del número de registros iniciales para poder realizar el proceso de modelado, debido a la gran cantidad de datos erróneos existentes para la mayoría de las especies consideradas en este estudio, que constituye el primer paso en este proceso. Posteriormente se muestran los valores del ajuste estadístico de cada modelo, representados por el área bajo la curva (AUC). Para todas las especies existen valores por encima de 0.7 a excepción de *M. occultus* con 0.5, lo que indica un bajo potencial predictivo para esta última, cuyos valores en análisis posteriores para el presente estudio no fueron considerados.



Respecto a los mapas de distribución potencial, de las 15 especies de miótidos con distribución geográfica en México 4 (*M. albescens*, *M. peninsularis*, *M. carteri* y *M. evotis*) presentan distribución restringida, abarcando uno o más estados en diferentes regiones del país (Figura 5). Estas especies se encuentran restringidas geográficamente en ciertas zonas de México.

*M. albescens* (Figura 5A), se muestra una distribución geográfica orientada al sureste mexicano delimitado a zonas tropicales, ocupando las selvas de la planicie costera del Golfo de México desde el sur de Veracruz hasta los estados de Oaxaca, Tabasco y Chiapas. Es una de las especies de miótidos que presenta una distribución restringida a las condiciones ambientales que caracterizan el sureste del país.

Para *M. peninsularis* (Figura 5B) se muestra una distribución geográfica delimitada a la península de Baja California, en el estado de Baja California Sur exclusivamente. Por su distribución geográfica única en esta zona, es una de las especies de miótidos endémicos para México.

Para *M. carteri* (Figura 5C), se presenta una distribución geográfica de la especie a lo largo de toda la costa del Pacífico. Esta especie endémica de murciélago se distribuye únicamente en los estados de Nayarit, Colima, Jalisco, Michoacán que se caracterizan por ser sitios con vegetación tropical, presentando como límite geográfico el sur del Estado de México.

A diferencia de las especies de miótidos mencionadas anteriormente, *M. evotis* (Figura 5D) presenta una distribución geográfica limitada a la porción norte de México. Únicamente se distribuye en el estado de Baja California Norte, cuya presencia es restringida para los sitios en la sierra de Baja California. Lo anterior permite deducir que es una de las especies de miótidos mexicanos con la distribución geográfica más restringida en el país.

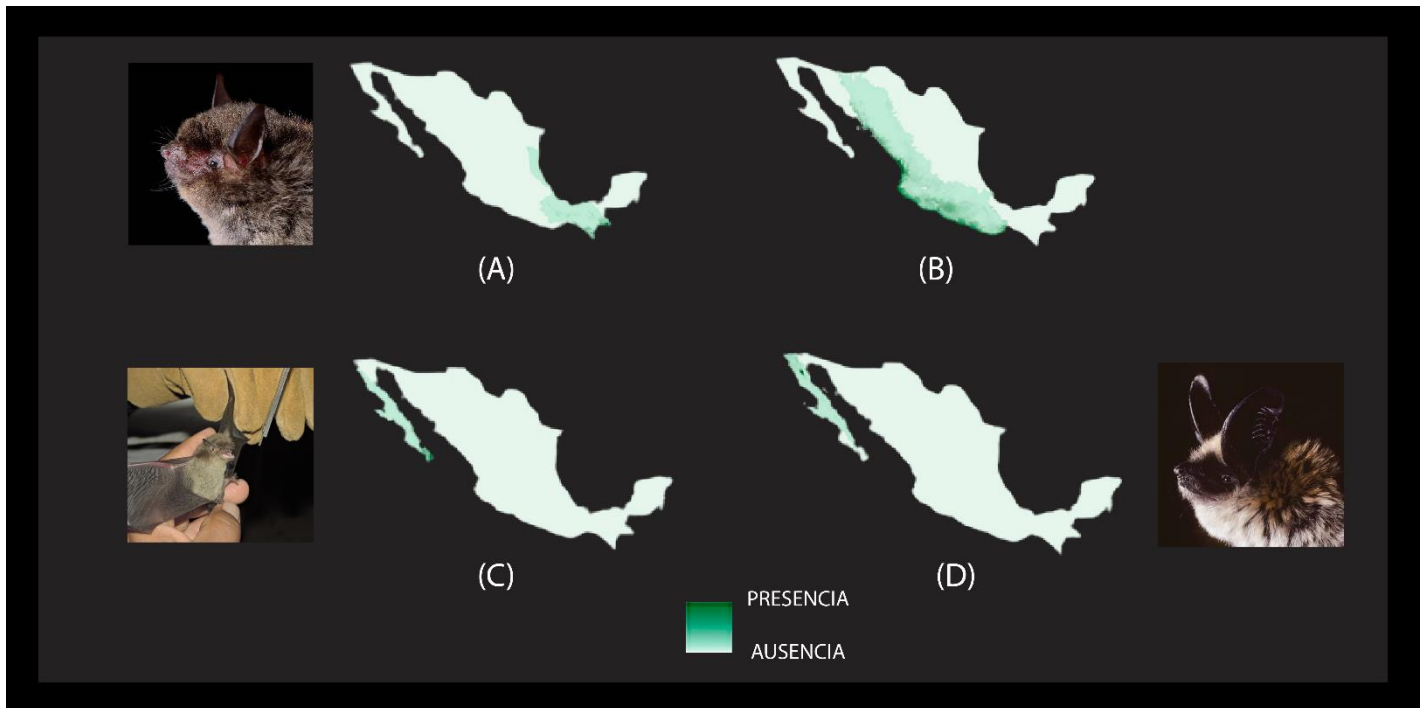


Figura 5. Modelos de nicho ecológico de *Myotis albescens* (A), *Myotis carteri* (B), *Myotis peninsularis* (C) y *Myotis evotis* (D) proyectados geográficamente en mapas de distribución potencial a una escala 1:1, 000,000. Se presentan las regiones con características óptimas que indican el establecimiento potencial de cada especie.

La distribución geográfica de cuatro de las 15 especies de miótidos mexicanos (Figura 6), muestra una amplia distribución que abarca principalmente la región norte y central de México, abarcando distintos estados en el país. Se distribuyen en dos o más estados de la República Mexicana, presentando como límite los estados de la zona central de México.

En el caso de *M. ciliolabrum* (Figura 6A), se presenta una distribución geográfica que predomina el norte de México, encontrando sus límites geográficos en el noreste del país. Su distribución abarca los estados de Baja California Norte, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Zacatecas, Michoacán y Nayarit. Esta especie predomina en los estados del norte de México, por lo que está ausente en el centro y sureste de México.

Para *M. thysanodes* (Figura 6B), existe una amplia distribución geográfica con respecto a las especies de miótidos considerados en este estudio. Su ubicación geográfica comprende desde regiones desérticas en el norte del país en Sonora, Chihuahua, Sonora, Tamaulipas, Nuevo León, Durango y San Luis Potosí, incluyendo las regiones altas del eje neovolcánico. También las zonas tropicales húmedas de Veracruz, Chiapas, Oaxaca y Puebla, aunque también se ubica en Jalisco, Michoacán, Hidalgo, Querétaro, Estado de México y Zacatecas.

*M. planiceps* (Figura 6C) es una de las especies endémicas para México que además presenta una distribución restringida en la región desértica del norte del país. Su distribución geográfica se limita a los estados de Coahuila, Zacatecas y Nuevo León, mostrando una de las distribuciones más acotadas en los miótidos.

Para *M. auriculus* (Figura 6D), se presenta una distribución geográfica que abarca desde los estados de Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Coahuila, Zacatecas, Durango, Nuevo León hasta Zacatecas. Encuentra su límite geográfico en los estados de Jalisco y Nayarit, llegando a estar presente hasta el norte del estado de Veracruz.

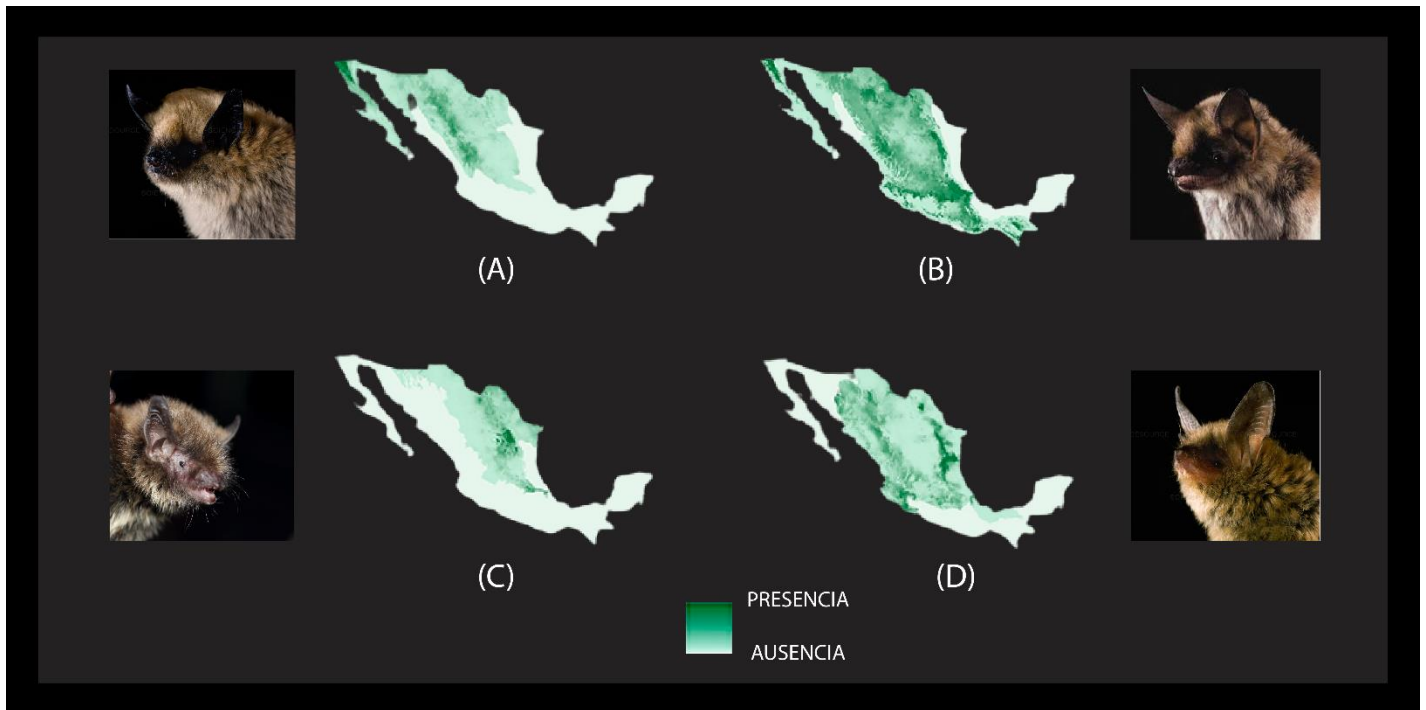


Figura 6. Modelos de nicho ecológico de *Myotis ciliolabrum* (A), *Myotis thysanodes* (B), *Myotis planiceps* (C) y *Myotis auriculus* (D) proyectados geográficamente en mapas de distribución potencial a una escala 1:1, 000,000. Se presentan las regiones con características óptimas que indican el establecimiento potencial de cada especie.

En contraste a las distribuciones acotadas de las especies descritas anteriormente, otras cuatro especies presentan una amplia distribución geográfica (Figura 7) extendiéndose de la región norte hasta algunas porciones del sureste mexicano.

Para *M. yumanensis* (Figura 7A), existe una distribución geográfica que comprende los estados de Sinaloa, Sonora, Baja California Norte, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila y Durango en la porción norte de México. También se distribuye en la región central del país a través de Aguascalientes, Colima, Guanajuato, San Luis Potosí, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Estado de México, Puebla, Querétaro y Zacatecas.

La distribución geográfica de *M. californicus* (Figura 7B) abarca prácticamente todos los estados del norte del país hasta los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas, siendo ausente en algunas regiones del sureste y la península de Yucatán. A diferencia de otras especies de miótidos, este murciélago llega a habitar la península de Baja California y el norte de México, manteniendo una mínima presencia en el sureste mexicano.

*M. volans* (Figura 7C) se distribuye a lo largo de la península de Baja California y el extremo norte de los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango, predominando en el noroeste de México. En la parte central su distribución geográfica comprende toda la Faja Volcánica Transmexicana desde Jalisco hasta Veracruz, incluyendo los estados de Michoacán, Morelos, Tlaxcala, Puebla y el Estado de México. Su distribución geográfica es ausente en el sureste de México y la península de Yucatán.

Para *M. velifer* (Figura 7D) se muestra una distribución en el norte y noreste del país exceptuando los estados de Baja California Norte y Sur, teniendo como límite geográfico la zona norte del estado de Veracruz. En el sureste mexicano se distribuye en los estados de Guerrero, Chiapas y Tabasco, siendo ausente la especie en la Península de Yucatán.

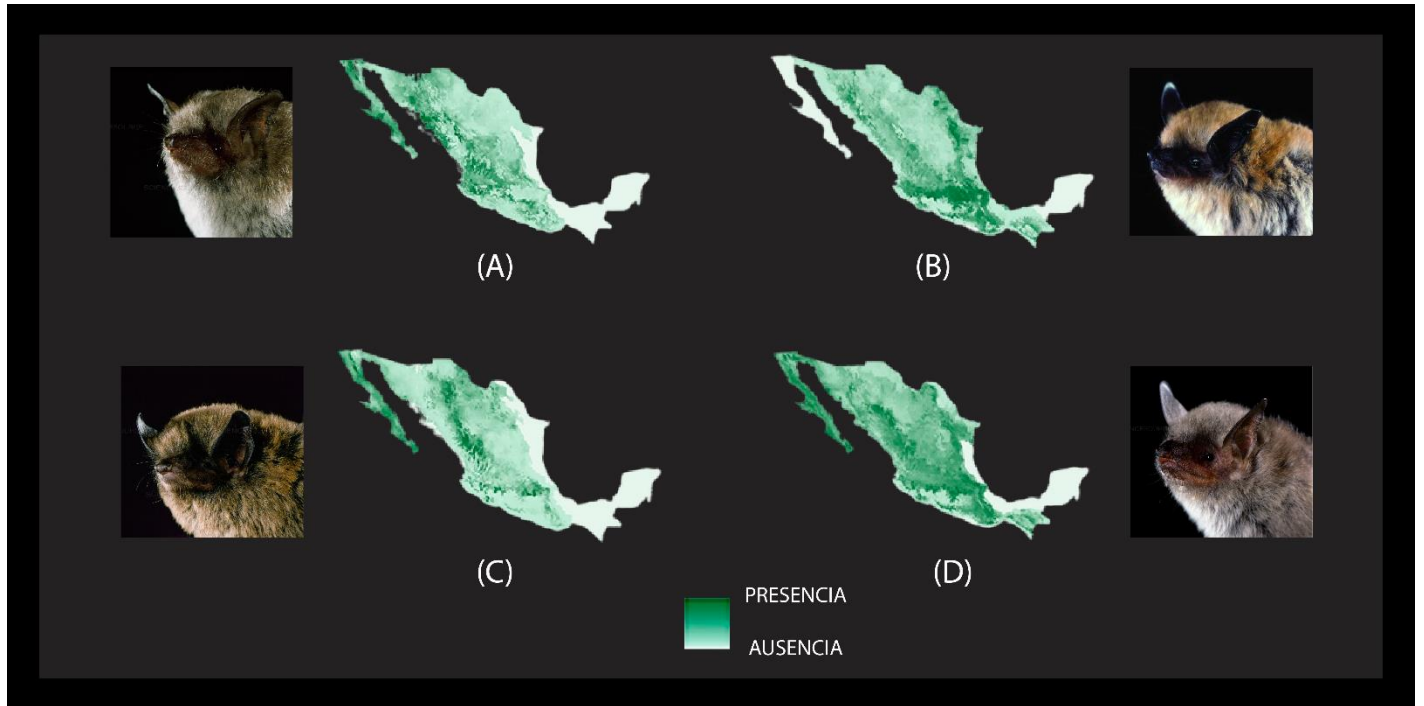


Figura 7. Modelos de nicho ecológico de *Myotis yumanensis* (A), *Myotis californicus* (B), *Myotis volans* (C) y *Myotis velifer* (D) proyectados geográficamente en mapas de distribución potencial a una escala 1:1, 000,000. Se presentan las regiones con características óptimas que indican el establecimiento potencial de cada especie.

Aunque la mayoría de las especies de miótidos se distribuyen en la porción norte y central de México, para las especies *M. nigricans* y *M. keaysi* (Figura 8) se presenta una distribución asociada al sureste mexicano. Estas especies de murciélagos presentan una mayor asociación a los ambientes tropicales del sureste mexicano, presentando una distribución en los límites del norte de México, principalmente el estado de Tamaulipas.

La distribución geográfica de *M. nigricans* (Figura 8A) presenta sus límites geográficos desde el sur de Tamaulipas, abarcando los estados de Hidalgo, Puebla y San Luis Potosí. Su distribución en el sureste predomina en los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas, siendo este último el límite de su distribución geográfica en el país.

Para *M. keaysi* (Figura 8B) se muestra una distribución geográfica que abarca prácticamente todo el sureste mexicano. Su distribución se extiende desde el sur de Tamaulipas a través de los estados de Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Veracruz, Oaxaca, Chiapas y Campeche. A diferencia de las especies mencionadas anteriormente, *M. keaysi* se distribuye en los estados de Tabasco, Yucatán y Quintana Roo.

*M. occultus* (Figura 8C) ha sido registrado en las porciones semiáridas del sudoeste de Estados Unidos de América hasta la porción media del centro de México. Se ha registrado en los estados de Chihuahua, Zacatecas, Estado de México y la Ciudad de México, sin embargo, existen muy pocos registros desde finales del siglo pasado. Como consecuencia, no se pudo construir un buen modelo de nicho.

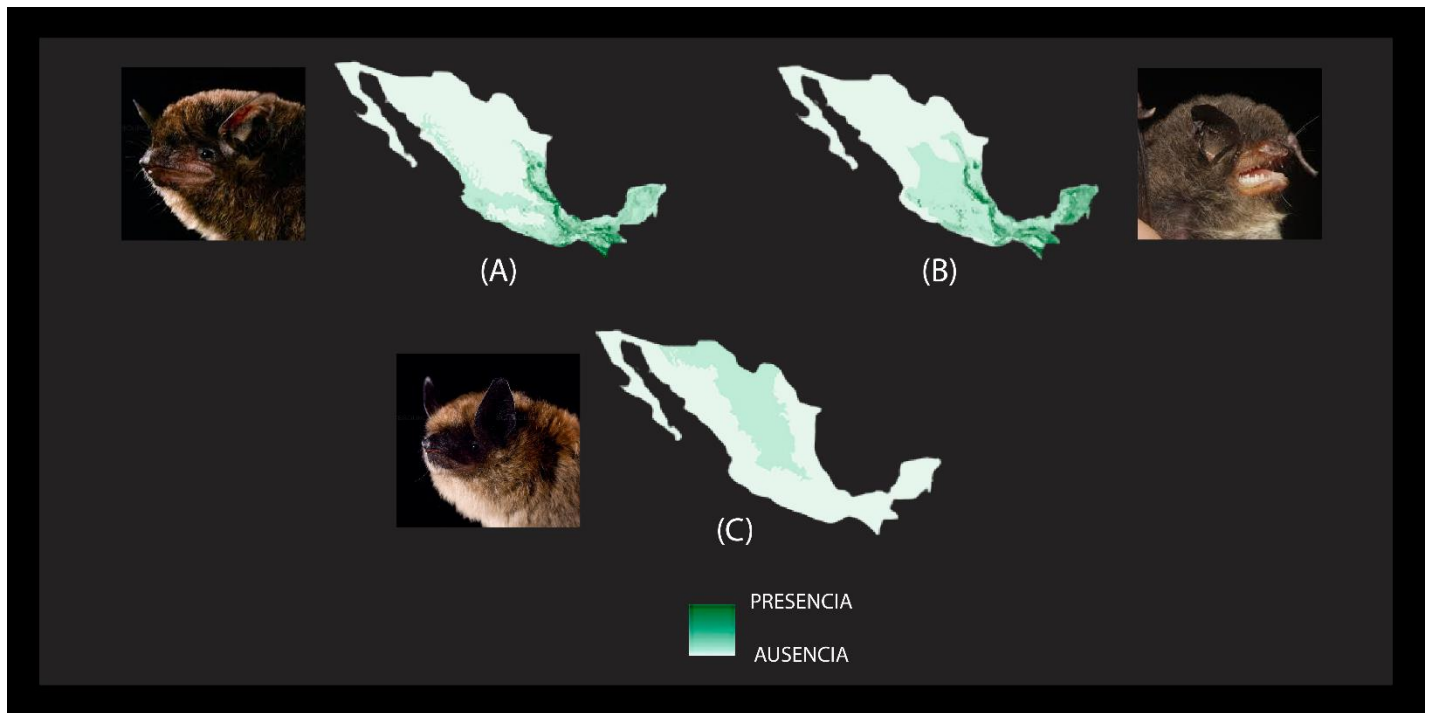


Figura 8. Modelos de nicho ecológico de *Myotis nigricans* (A), *Myotis keaysi* (B) y *Myotis occultus* (C) proyectados geográficamente en mapas de distribución potencial a una escala 1:1, 000,000. Se presentan las regiones con características óptimas que indican el establecimiento potencial de cada especie.



Se muestran los mapas de distribución potencial para cuatro de las siete especies de murciélagos positivas al síndrome de nariz blanca (Figura 9), cuya extensión abarca distintos estados que conforman los Estados Unidos de América. Estas especies se caracterizan por poseer una distribución nortea.

*M. septentrionalis* (Figura 10A), muestra una distribución que predomina en el noreste y noroeste de Estados Unidos de América. Su distribución abarca desde las regiones que colindan con el sureste de Canadá, abarcando el este de Montana y Wyoming hasta el sur de Alabama, Georgia y Florida.

Para *M. grisescens* existe una distribución geográfica bien delimitada a la porción noreste de Estados Unidos de América (Figura 9B). Esta abarca los estados de Kentucky, Indiana, Illinois, el este de Kansas y el noreste de Oklahoma, presentando su límite geográfico en el estado de Florida.

*M. leibii* (Figura 9C) se distribuye en las zonas del noreste de Estados Unidos, colindando con Quebec, Canadá. Su distribución geográfica se encuentra restringida a los estados de Maine, el sur de Georgia y Oklahoma, en Estados Unidos de América.

Para *M. sodalis* (Figura 9D) se muestra una distribución geográfica que se extiende en la porción noreste de Estados Unidos de América. Esta especie se distribuye desde el este de los estados de Wisconsin y Oklahoma hasta el norte de Florida, presentando una distribución limitada a esta región.

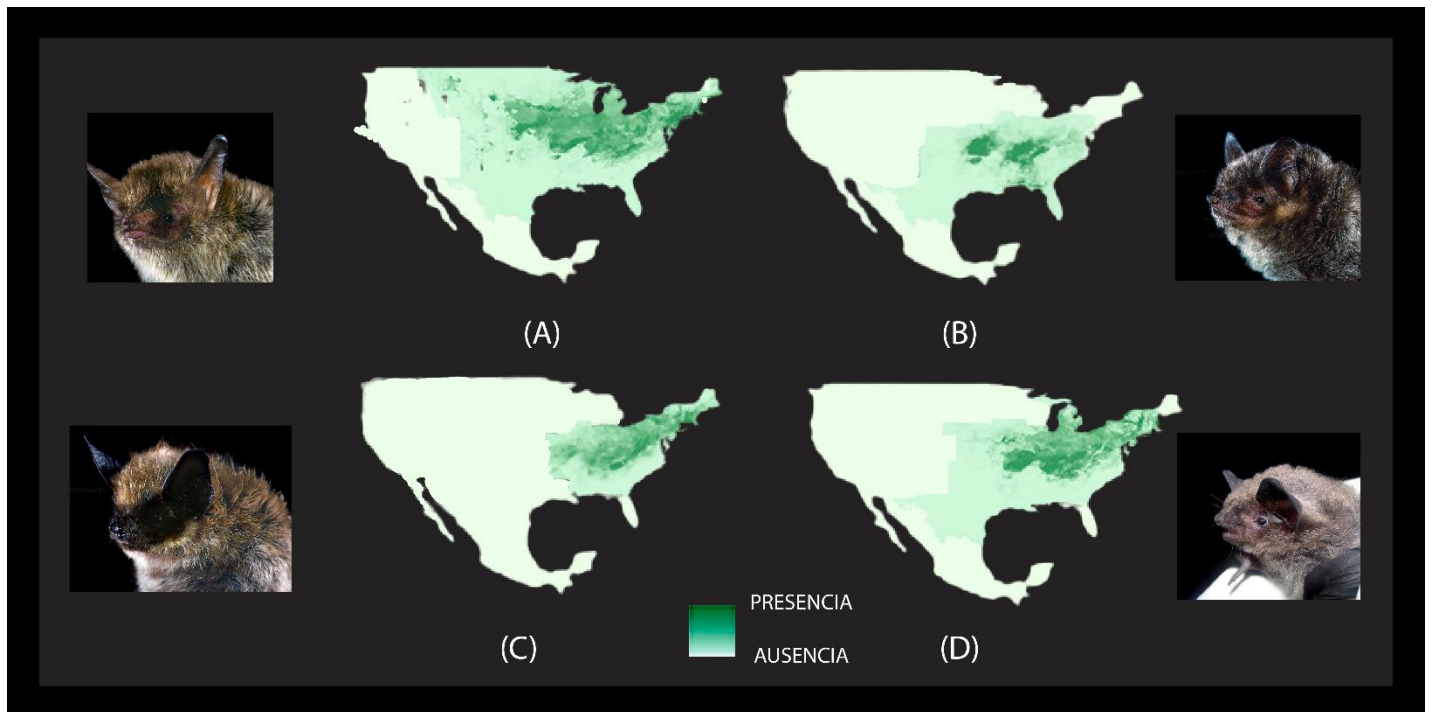


Figura 9. Modelos de nicho ecológico de *Myotis septentrionalis* (A), *Myotis grisescens* (B), *Myotis leibii* (C) y *Myotis sodalis* (D) proyectados geográficamente en mapas de distribución potencial a una escala 1:1, 000,000. Se presentan las regiones con características óptimas que indican el establecimiento potencial de cada especie.

Se muestran las 3 especies restantes (*Eptesicus fuscus*, *Myotis lucifugus* y *Perimyotis subflavus*) cuya distribución abarca todo Estados Unidos de América (Figura 10).

*E. fuscus* presenta una distribución geográfica que abarca prácticamente todo Estados Unidos de América (Figura 10A), distribuyéndose en las distintas regiones de este país que colindan al norte con Canadá y al sur con México. Esta especie muestra la distribución más amplia dentro de los murciélagos considerados en este estudio.

Para *M. lucifugus* (Figura 10B), se muestra una distribución geográfica que predomina en el norte de Estados Unidos de América, mostrando sus límites geográficos al suroeste de este país. Su distribución abarca desde el estado de Alaska hasta el sur de California y el norte de Arizona y Nuevo México.

La distribución geográfica de *P. subflavus* (Figura 10C), se extiende desde el sureste de Canadá que colinda con los Estados Unidos de América hacia los estados de Minnesota y el sur de Florida. Su extensión geográfica recorre el noreste de México bajando por los estados de Tamaulipas, Veracruz y Tabasco hasta la parte sur de las selvas tropicales en Chiapas, colindando con Guatemala.

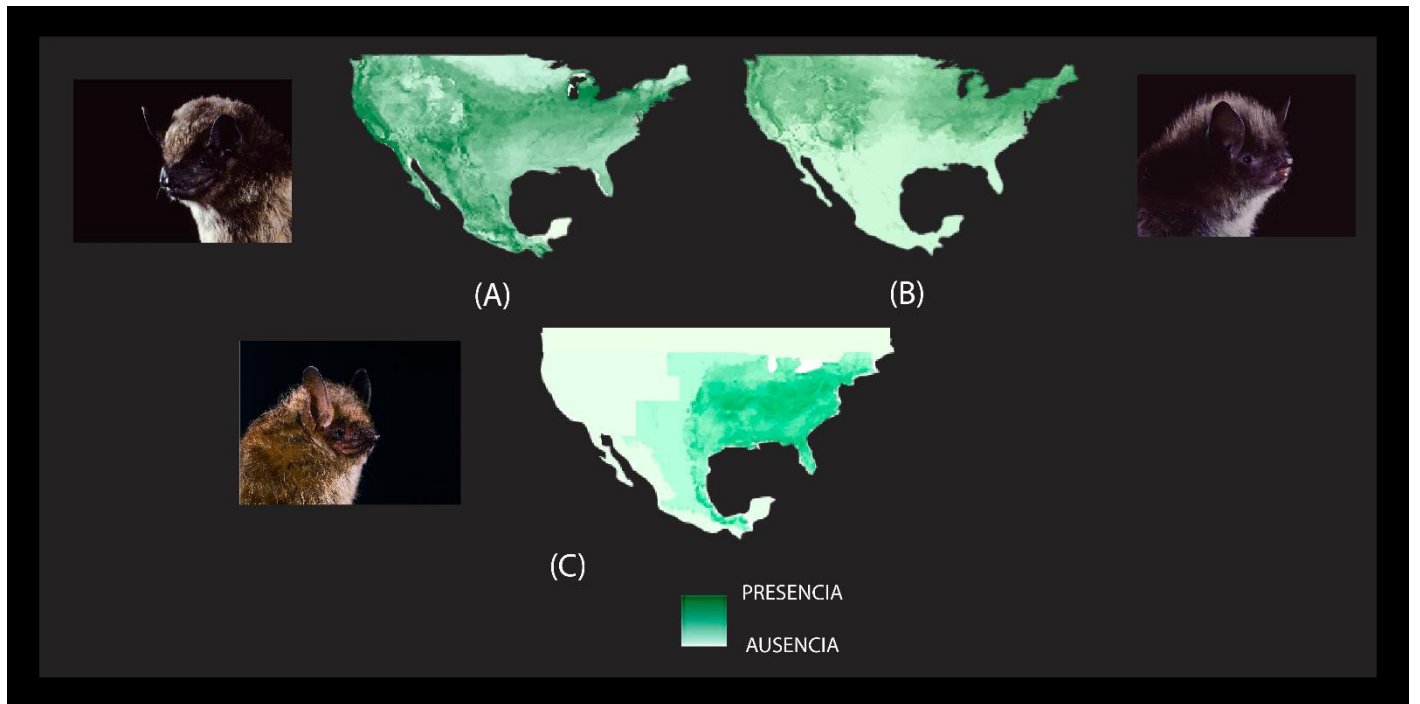


Figura 10. Modelos de nicho ecológico de *Eptesicus fuscus* (A), *Myotis lucifugus* (B) y *Perimyotis subflavus* (C) proyectados geográficamente en mapas de distribución potencial a una escala 1:1,000,000. Se presentan las regiones con características óptimas que indican el establecimiento potencial de cada especie.

## 5.2 Similitud de nicho

A través de un análisis de similitud de nicho (Background test), se obtuvieron los valores de similitud (D de Schoener) entre los nichos de *M. lucifugus*, *M. septentrionalis* y *M. grisescens* vs las 15 especies de miótidos mexicanos.

Para *M. lucifugus* se muestran los valores de similitud de nicho (Cuadro 2), indicando el grado de similitud para cada comparación y los valores de significancia. Ninguna comparación mostró valores de nicho similares a los de *M. lucifugus*.

Cuadro 2. Similitud de nicho ecológico para *M. lucifugus* respecto a las 15 especies de miótidos mexicanos, mostrando el grado de similitud (D de Schoener) de los modelos de nicho ecológico comparados. \*Valor significativo de acuerdo a la prueba hipótesis.

Especies	Valor observado (D de Schoener)	Valor esperado	Valor de P
<i>M. lucifugus</i> vs <i>M. albescens</i>	0.005	0.003	0.001
<i>M. lucifugus</i> vs <i>M. auriculus</i>	0.086	0.053	0.01
<i>M. lucifugus</i> vs <i>M. carteri</i>	0.004	0.043	0.047
<i>M. lucifugus</i> vs <i>M. californicus</i>	0.164	0.014	0.02
<i>M. lucifugus</i> vs <i>M. ciliolabrum</i>	0.206	0.089	0.047
<i>M. lucifugus</i> vs <i>M. evotis</i>	0.017	0.066	0.01
<i>M. lucifugus</i> vs <i>M. keaysi</i>	0.049	0.015	0.01
<i>M. lucifugus</i> vs <i>M. nigricans</i>	0.031	0.016	0.007
<i>M. lucifugus</i> vs <i>M. peninsularis</i>	0.002	0.007	0.02
<i>M. lucifugus</i> vs <i>M. planiceps</i>	0.080	0.229	0.001
<i>M. lucifugus</i> vs <i>M. thysanodes</i>	0.099	0.077	0.001
<i>M. lucifugus</i> vs <i>M. velifer</i>	0.224	0.031	0.001
<i>M. lucifugus</i> vs <i>M. volans</i>	0.120	0.082	0.01
<i>M. lucifugus</i> vs <i>M. yumanensis</i>	0.239	0.576	0.01

Para *M. grisescens*, se muestran los valores de similitud de nicho respecto a las 15 especies de miótidos mexicanos (Cuadro 3). Únicamente se muestran valores de nicho similares para *M. thysanodes* (P=0.050) y *M. yumanensis* (P=0.52), cuyos valores de P rebasan el valor crítico (>0.05).

Cuadro 3. Similitud de nicho ecológico para *M. grisescens* respecto a las 15 especies de miótidos mexicanos, mostrando el grado de asociación (D de Schoener) de los modelos de nicho ecológico comparados. \*Valor significativo de acuerdo a la prueba hipótesis.

Especies	Valor observado (D de Schoener)	Valor esperado	Valor de P
<i>M. grisescens</i> vs <i>M. albescens</i>	0.004	0.454	0.005
<i>M. grisescens</i> vs <i>M. auriculus</i>	0.157	0.218	0.044
<i>M. grisescens</i> vs <i>M. californicus</i>	0.008	0.258	0.006
<i>M. grisescens</i> vs <i>M. carteri</i>	0.278	0.206	0.032
<i>M. grisescens</i> vs <i>M. ciliolabrum</i>	0.222	0.182	0.034
<i>M. grisescens</i> vs <i>M. evotis</i>	0.013	0.364	0.032
<i>M. grisescens</i> vs <i>M. keaysi</i>	0.078	0.500	0.034
<i>M. grisescens</i> vs <i>M. nigricans</i>	0.067	0.494	0.045
<i>M. grisescens</i> vs <i>M. peninsularis</i>	0.005	0.313	0.023
<i>M. grisescens</i> vs <i>M. planiceps</i>	0.092	0.383	0.034
<i>M. grisescens</i> vs <i>M. thysanodes</i> *	0.173	0.167	0.050
<i>M. grisescens</i> vs <i>M. velifer</i>	0.354	0.224	0.034
<i>M. grisescens</i> vs <i>M. volans</i>	0.161	0.220	0.046
<i>M. grisescens</i> vs <i>M. yumanensis</i> *	0.266	0.219	0.052

Así mismo, se realizó la distribución de frecuencias del análisis de similitud entre *M. grisescens* y *M. thysanodes* (Figura 14). Los valores promedio de las comparaciones se muestran junto con el valor observado para *M. thysanodes* (flecha negra), mostrando la similitud de nicho entre estas dos especies.

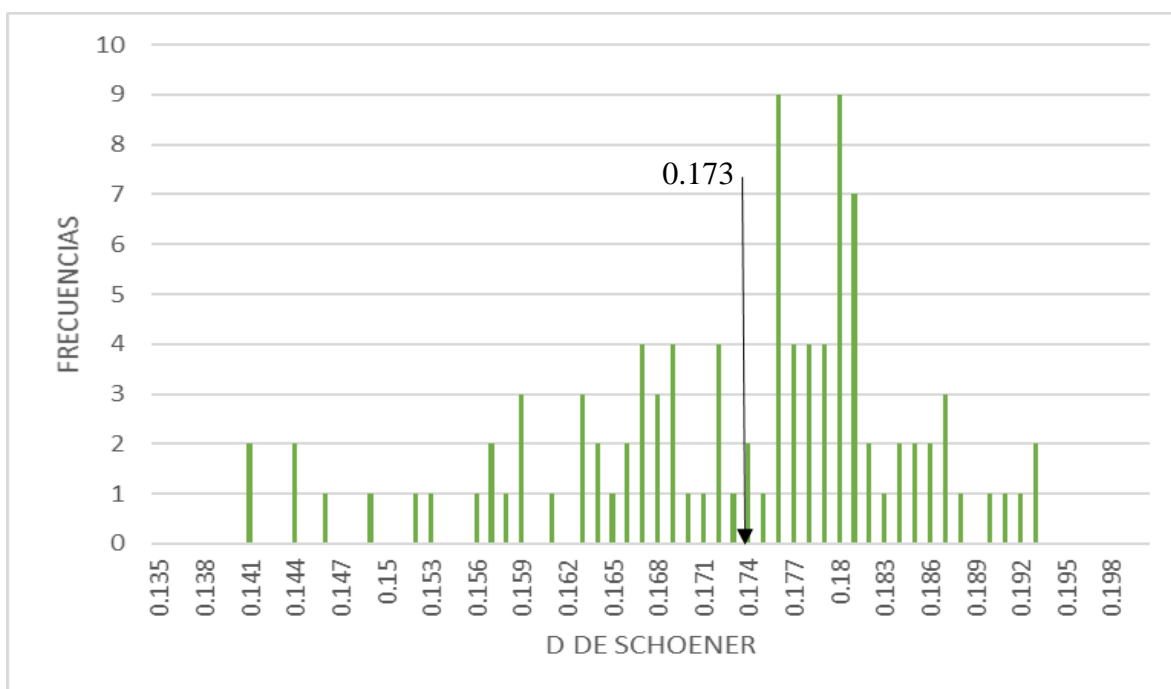


Figura 11. Distribución de las frecuencias de los valores de *M. grisescens* vs *M. thysanodes* mediante la D de Schoener (índice de similitud estadística de nicho ecológico), mostrando el valor esperado de *M. thysanodes* (flecha negra) y su ubicación dentro de las réplicas realizadas.

Así mismo, se realizó la distribución de frecuencias del análisis de similitud entre *M. grisescens* y *M. yumanensis* (Figura 14). Los valores promedio de las comparaciones se muestran junto con el valor observado para *M. yumanensis* (flecha negra). El valor de P ( $P=0.052$ ) para *M. yumanensis* rebasa el valor crítico ( $>0.05$ ), mostrando la similitud de nicho entre estas dos especies.

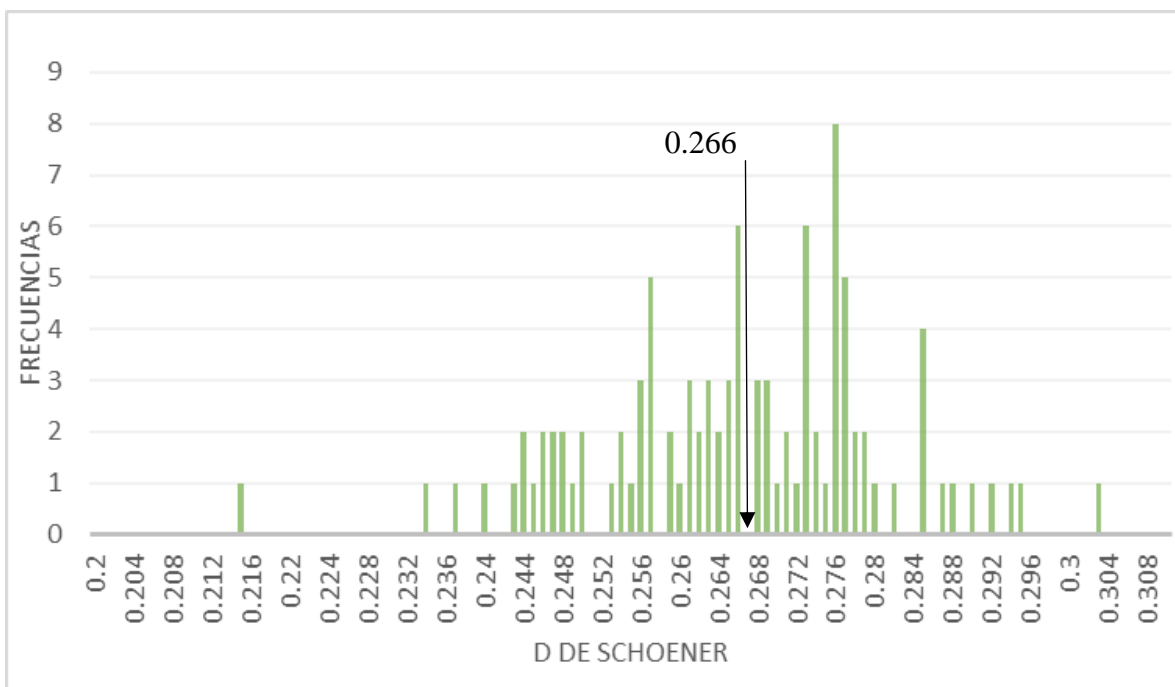


Figura 12. Distribución de las frecuencias de los valores de *M. grisescens* vs *M. yumanensis* mediante la D de Schoener (índice de similitud estadística de nicho ecológico), mostrando el valor esperado de *M. yumanensis* (flecha negra) y su ubicación dentro de las réplicas realizadas.



Se presenta el análisis de similitud de nicho para *M. septentrionalis* respecto a las 15 especies de miótidos mexicanos (Cuadro 4). Los análisis de similitud de nicho solo muestran valores de nicho similares para *M. auriculus* (P=0.053), *M. californicus* (P=0.058) y *M. peninsularis* (P=0.051).

Cuadro 4. Resultados de las pruebas de similitud de nicho para *M. septentrionalis* respecto a las 15 especies de miótidos mexicanos, mostrando el grado de asociación (D de Schoener) de los modelos de nicho ecológico comparados. \*Valor significativo de acuerdo a la prueba hipótesis.

Especies	Valor observado (D de Schoener)	Valor esperado	Valor de P
<i>M. septentrionalis</i> vs <i>M. albescens</i>	0.004	0.152	0.005
<i>M. septentrionalis</i> vs <i>M. auriculus</i> *	0.154	0.324	0.053
<i>M. septentrionalis</i> vs <i>M. carteri</i>	0.008	0.414	0.048
<i>M. septentrionalis</i> vs <i>M. californicus</i> *	0.275	0.431	0.058
<i>M. septentrionalis</i> vs <i>M. ciliolabrum</i>	0.217	0.382	0.049
<i>M. septentrionalis</i> vs <i>M. evotis</i>	0.013	0.596	0.033
<i>M. septentrionalis</i> vs <i>M. keaysi</i>	0.076	0.484	0.026
<i>M. septentrionalis</i> vs <i>M. nigricans</i>	0.064	0.532	0.025
<i>M. septentrionalis</i> vs <i>M. peninsularis</i> *	0.005	0.344	0.051
<i>M. septentrionalis</i> vs <i>M. planiceps</i>	0.096	0.584	0.033
<i>M. septentrionalis</i> vs <i>M. thysanodes</i>	0.171	0.285	0.045
<i>M. septentrionalis</i> vs <i>M. velifer</i>	0.344	0.286	0.048
<i>M. septentrionalis</i> vs <i>M. volans</i>	0.159	0.366	0.046
<i>M. septentrionalis</i> vs <i>M. yumanensis</i>	0.259	0.416	0.038

Gráfico de distribución de frecuencias para la comparación realizada entre *M. septentrionalis* y *M. auriculus* (Figura 15), representando los valores promedio de las réplicas y la ubicación del valor observado de *M. auriculus* (flecha negra). El valor de P para *M. auriculus* ( $P= 0.053$ ) rebasa el valor crítico ( $>0.05$ ), mostrando la similitud de nicho entre estas dos especies.

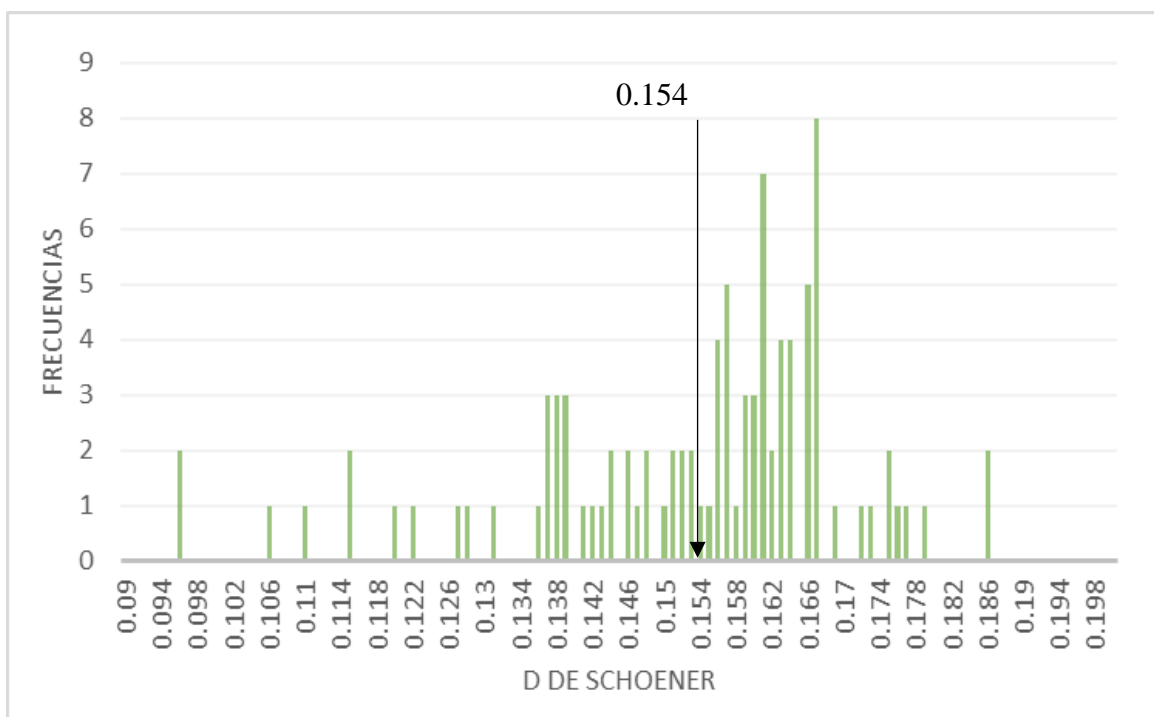


Figura 13. Distribución de las frecuencias de los valores de *M. septentrionalis* vs *M. auriculus* mediante la D de Schoener (índice de similitud estadística de nicho ecológico), mostrando el valor esperado de *M. auriculus* (flecha negra) y su ubicación dentro de las réplicas realizadas.

Para la comparación realizada entre *M. septentrionalis* y *M. californicus*, se muestra el gráfico de distribución de frecuencias (Figura 16), representando los valores promedio de las réplicas y la ubicación del valor esperado de *M. californicus* (flecha negra). El valor de P para *M. californicus* ( $P= 0.058$ ) rebasa el valor crítico ( $>0.05$ ), mostrando la similitud de nicho entre estas dos especies.

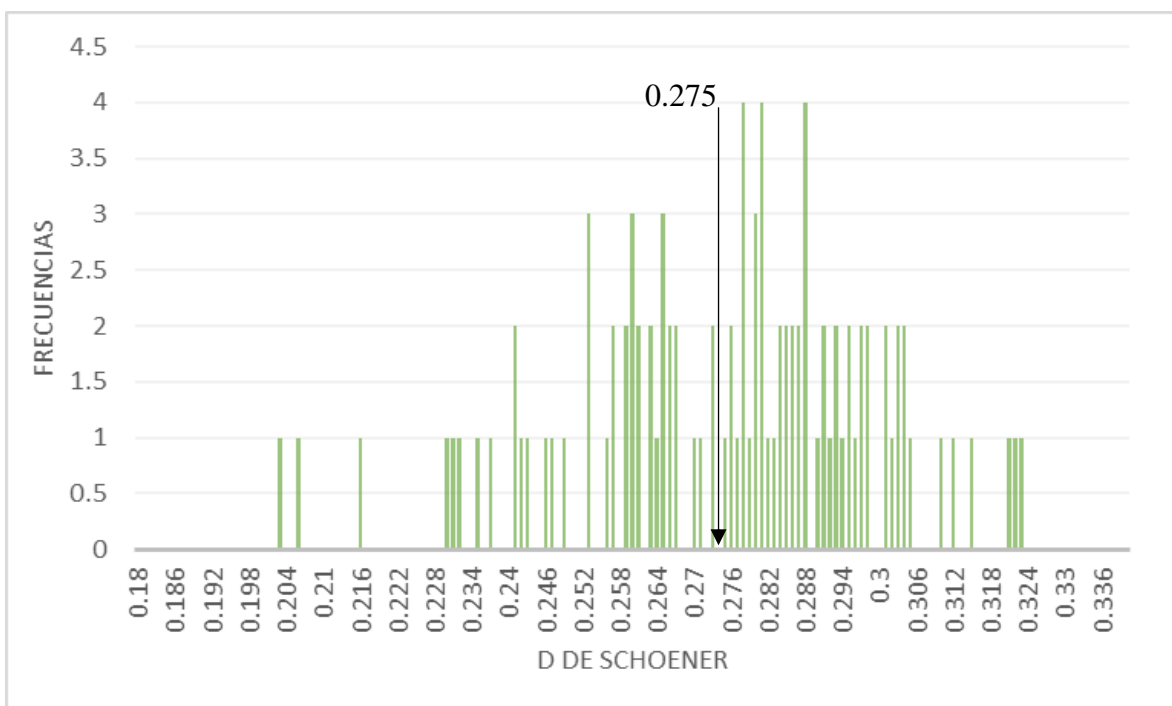


Figura 14. Distribución de las frecuencias de los valores de *M. septentrionalis* vs *M. californicus* del valor de la D de Schoener (índice de similitud estadística de nicho ecológico), mostrando el valor esperado de *M. californicus* (flecha negra) y su ubicación respecto a la distribución de frecuencias de las réplicas realizadas.

Se muestra el gráfico de distribución de frecuencias para la comparación realizada entre *M. septentrionalis* y *M. peninsularis* (Figura 17), representando los valores promedio de las réplicas y la ubicación del valor observado de *M. peninsularis* (flecha negra). El valor de P para *M. peninsularis* ( $P= 0.051$ ) rebasa el valor crítico ( $>0.05$ ), mostrando la similitud de nicho entre estas dos especies.

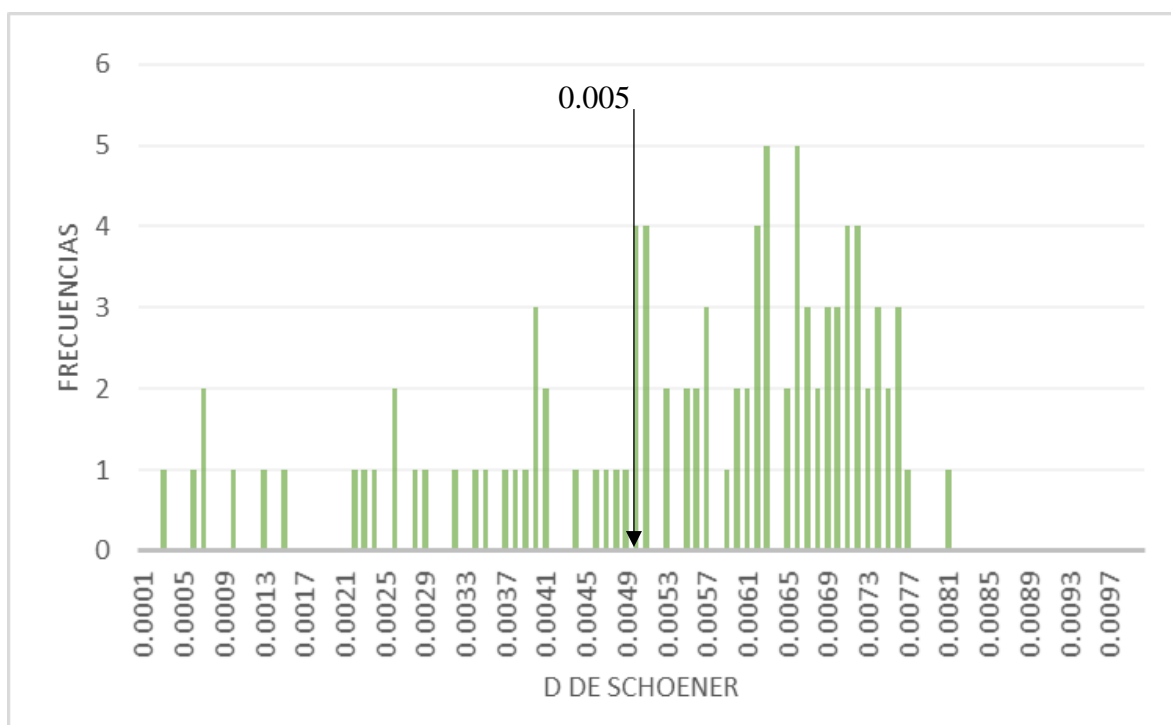


Figura 15. Distribución de las frecuencias de los valores de *M. septentrionalis* vs *M. peninsularis* mediante la D de Schoener (índice de similitud estadística de nicho ecológico), mostrando el valor esperado de *M. peninsularis* (flecha negra) y su ubicación dentro de las réplicas realizadas.

## DISCUSIÓN

Los modelos de nicho ecológico realizados tuvieron un adecuado y/o alto poder predictivo (AUC >0.7) (Cuadro 1), a excepción de *Myotis occultus* que (Phillips *et al.*, 2006). Estos resultados permiten conocer las regiones donde se establecen estas especies de murciélagos, con la finalidad de destacar áreas relevantes para su detección (Peterson *et al.*, 2011). De esta manera los modelos de nicho ecológico realizados sirven como base para los análisis de similitud realizados posteriormente partiendo de la confiabilidad estadística obtenida en su realización.

La prueba de similitud de nicho entre *M. lucifugus* y las especies mexicanas (Cuadro 2), mostró resultados significativos, por lo que no existe similitud de nicho ecológico entre estas especies.

Para *M. grisescens* (Cuadro 3), las especies mexicanas que mostraron similitud de nicho ecológico fueron *M. thysanodes* (P=0.050) y *M. yumanensis* (P=0.052). Los histogramas de frecuencias de estas dos especies muestran el valor observado bajo el promedio de las réplicas realizadas, indicando que los sitios que predicen su distribución son semejantes a los de *M. grisescens* de acuerdo a las variables ambientales que componen el modelo.

*M. septentrionalis* y los murciélagos mexicanos (Cuadro 4) mostraron similitud de nicho con diferencias significativas solo algunas especies. Las especies mexicanas que mostraron similitud de nicho ecológico fueron *M. auriculus* (P=0.053), *M. californicus* (P=0.058) y *M. peninsularis* (P=0.051). De igual forma, los histogramas de frecuencias muestran el valor observado y su ubicación con los valores promedio, indicando la similitud de nicho entre estas especies y *M. septentrionalis*. Al igual que *M. grisescens* y las especies que resultaron presentar similitud de nicho, los sitios que predicen su distribución, son similares de acuerdo a las variables que componen cada modelo.

A pesar de que algunas especies mostraron similitud de nicho, *M. ciliolabrum* (P=0.049) y *M. velifer* (P=0.048) mostraron valores muy cercanos al valor crítico, respecto a *M. septentrionalis*, por lo que podrían presentar similitud de nicho ecológico. Como sugiere Newbold, 2010, incrementar el número de registros puede ayudar a conformar un modelo más ajustado, lo que puede ayudar a obtener resultados mas finos en procesos estadísticos posteriores. Es importante considerar este tipo de datos, ya que las especies mencionadas

anteriormente presentan amplia distribución y la comparten con otras especies que presentaron similitud de nicho ecológico con las especies usadas en la comparación, positivas al SNB. De forma similar a lo obtenido en el presente estudio, la metodología empleada se ha llevado a cabo en otros análisis comparativos, que a su vez ha permitido obtener valores confiables de similitud de nicho ecológico con distintos enfoques y/o aplicaciones (Warren *et al.*, 2010).

Aunque no existen precedentes del Síndrome de nariz blanca en México, el análisis de similitud de nicho empleado en este estudio provee una herramienta para detectar zonas potenciales de riesgo a esta enfermedad. Los sitios potenciales predichos para *M. californicus* en México son una amenaza potencial para las distintas especies de murciélagos mexicanos que habitan en estos sitios, de acuerdo a la similitud de nicho predicha con *M. grisescens*. En estudios similares, el modelado de nicho ecológico ha permitido identificar el establecimiento geográfico y control de enfermedades en murciélagos, a través del ambiente que predice su distribución (Escobar *et al.*, 2013) o la identificación de los factores ambientales ideales para el desarrollo de la enfermedad (Taylor *et al.*, 1999), por lo que los análisis preliminares en este estudio son la base para la generación de estrategias de conservación en murciélagos mexicanos. Otros estudios de trabajo con modelado de nicho ecológico y enfermedades se han enfocado en el análisis de vectores (Parra, 2010) y reservorios (Sánchez, 2005) de distintas enfermedades, cuyo resultado preliminar, ha servido para llevar a cabo la generación de estrategias en el control de éstas.

Actualmente existen diversas estrategias que permiten impedir y/o controlar las enfermedades zoonóticas, analizando los factores ecológicos que intervienen en su establecimiento, entre ellos las barreras de dispersión que pueden limitar el avance de las enfermedades (Delahay *et al.*, 2009). Sin embargo, para el síndrome de nariz blanca se ha reportado un avance gradual desde su aparición (Lorch *et al.*, 2016) al expandir su distribución geográfica en Norteamérica (Foley *et al.*, 2010). Aunque el origen de la enfermedad proviene de Europa (Puechmaille *et al.*, 2011), independientemente de los límites geográficos, si el patógeno puede dispersarse por cualquier medio hacia lugares con condiciones ideales para su desarrollo, puede proliferar. En el caso de México, los sitios con mayor similitud de nicho que predicen la distribución de *M. californicus* son el centro y norte

de México, exceptuando algunas regiones del sureste y la Península de Yucatán, cuyas características ambientales son diferentes a las mostradas en el análisis de similitud realizado.

Aunque existe información sobre la enfermedad y su dinámica en Estados Unidos de América y Canadá (United States Fish and Wildlife Service, 2012) sobre los devastadores efectos en las poblaciones de murciélagos insectívoros, los resultados obtenidos en el presente estudio y otros similares pueden ayudar a esclarecer la ecología del síndrome de nariz blanca y sobre todo contar con herramientas para su detección y/o prevención en México. El presente estudio puede servir como base para estudiar las áreas de transmisión susceptibles al establecimiento del SNB en México. A pesar de que estas aproximaciones sigan poco exploradas en regiones donde aún no se manifiesta la enfermedad, los resultados en el presente estudio muestran una vista preliminar de las regiones que deben ser prioritarias para conservar las especies de murciélagos mexicanos.

## CONCLUSIONES

Todos los resultados del presente estudio demuestran que todos los modelos de nicho ecológico (a excepción de *M. occultus*) presentaron un alto poder predictivo, lo que permitió estimar la distribución potencial de las 22 especies de murciélagos con distribución en México y Estados Unidos de América.

Las pruebas de similitud de nicho entre las 3 especies de murciélagos infectados con síndrome de nariz blanca (*M. lucifugus*, *M. grisescens* y *M. septentrionalis*), únicamente mostraron la similitud de nicho entre *M. thysanodes* y *M. yumanensis* respecto a *M. grisescens* y *M. auriculus*, *M. californicus* y *M. peninsularis* respecto a *M. septentrionalis*.

De acuerdo al análisis de similitud de nicho, *M. californicus* muestra el valor más elevado de similitud de nicho respecto a la comparación con *M. grisescens*, cuya distribución potencial representa zonas potenciales de riesgo al establecimiento del síndrome de nariz blanca en México.

A pesar de que el síndrome de nariz blanca aún no se reporta en México, este análisis preventivo muestra un primer panorama de riesgo hacia los murciélagos mexicanos, sin embargo, es necesario realizar más estudios que permitan comprender la dinámica y dispersión de esta enfermedad, así como su monitoreo y evaluación. Así mismo, se puede proveer información útil que permita conocer el panorama futuro y el implemento de estrategias de conservación que permitan salvaguardar la diversidad de murciélagos y sus múltiples beneficios a distintas escalas.



## LITERATURA CITADA

- Altringham, J. D. 1996. *Bats Biology and Behavior*. Oxford University Press. E. U. A.
- Altringham, J. D. 2011. *Bats*. Oxford University Press. Reino Unido.
- Anderson, R. P., Lew, D. y Peterson, A. T. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: Criteria for selecting optimal models. *Ecological Modeling* 162:211-232.
- Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E. 2004. Modeling species geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (*Heteromys*) of Ecuador. *Biological Conservation*. 116: 167-179.
- Barbour R. W. y Davis W. H. 1969. *Bats of America*. The University Press of Kentucky. E. U. A.
- Bexell, S. M. y Feng, R. X. 2013. Considering human development, socialization, and enculturation in educational intervention design for wildlife conservation: A case of bats. Pp 343-361 in *Bat evolution, ecology and conservation* (Adams, R. A. y Pedersen, S. C. eds.). Springer. E.U.A.
- Blehert, G., Moore, M. S., Schountz, T. y Voigt, C. 2010. Emerging diseases in Chiroptera: why bats? *Patogen Biology*. 6: 438-440.
- Blehert, G., Lorch, J. M., Ballmann, A. E., Cryan, P. M. y Meteyer, C. 2011. Bat white-nose syndrome in North America. *Microbe*. 6: 267-273.
- Boyles J.G. y Willis C.K.R. 2009. Could localized warm areas inside cold caves reduce mortality of hibernating bats affected by white-nose syndrome? *Frontiers in Ecology and the Environment* 8:92-98.
- Braun, J. K., Yang, B., González-Pérez, S. B. y Mares, M. A. *Myotis yumanensis*. *Mammalian Species*. The American Society of Mammalogists. 47: 1-14.

Breed A. C., Plowright R. K., Hayman D. T. S., Knobel D. L., Molenaar F. M., Gardner-Roberts D., Cleveland S., Haydon D. T., Kock R. A., Cunningham A. A., Sainsbury A. W. y Delahay R. J. 2009. Disease Management in Endangered Mammals. Pp 215-239 in Management of Disease in Wild Mammals (Delahay R. J., Smith G. C. y Hutchings M. R., eds.). Springer. Japón.

Broennimann O., Mathew C., Fitzpatrick C., Pearman P. B., Petitpierre B., Pellissier L., Yoccoz N. G., Thuiller W., Fortin M., Randin C., Zimmermann N. E., Graham C. H. y Guisan A. 2012. Measuring ecological niche overlap from occurrence and spatial environmental data. *Global Ecology and Biogeography*. 21: 481-497.

Brock F. M. y Kunz T. H. 2003. *Bat Biology*. The University of Chicago Press. E. U. A. 493-680.

Calisher H. C., Childs E. J., Field E. H., Holmes V. K. y Schountz T. 2006. Bats: Important reservoir hosts of emerging viruses. *Clinical Microbiology Reviews*. American Society for Microbiology. 19: 531-545.

Ceballos G., Cabrales J. A. y Vázquez D. 2014. Orden Chiroptera. Pp 667-838 en *Mammals of Mexico* (Ceballos G. editor). Johns Hopkins University Press. E. U. A.

Ceballos, G. y Oliva, G. 2005. *Los mamíferos silvestres de México*. Fondo de Cultura Económica. Universidad de Texas. E.U.A.

Cryan P. M., Meteyer, C. U., Boyles, J. C. y Blehert, D. S. 2010. Wing pathology of white nose syndrome in bats suggest life-threatening disruption of physiology. *BMC Biology*. 8:135.

Delahay R. J., Smith G. C. y Hutchings M. R. 2009. The Science of Wildlife Disease Management. Pp. 1-8 in *Management of Disease in Wild Mammals* (Delahay R. J., Smith G. C. y Hutchings M. R., eds.). Springer. Japón.

- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudik, M., En Chee, Y. y Yates, C. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*. 17:43-57.
- Elton, C. S. 1927. *Animal Ecology*. Sidwick and Jackson, London.
- ESRI. 2010. ArcGIS. Ver. 10.1 Environmental System Research Institute, Inc. Redlands, California.
- Fenton, M. B. y Bohnadowics, W. 2002. Relationships between external morphology and foraging behavior: bats in the genus *Myotis*. *Canadian Journal of Zoology*. 80: 104-1013.
- Findley J S. 1972. Phenetic relationships among bats of the genus *Myotis*. *Sistematic Zoology*. 31-52.
- Fleming, T. y Eby, P. 2003. *Bat ecology*. The University of Chicago Press. E. U. A. 166-208.
- Foley, J., Clifford, D., Castle, K., Cryan, P. y Ostfeld, R. 2010. Investigating and managing the rapid emergence of white-nose syndrome, a novel, fatal, infectious disease of hibernating bats. *Conservation Biology*. 25: 223-231.
- Frick, W. F., Puechmaille, S. J., Hoyt, J. R., Nickel, B. A., Langwig, K. E., Foster, J. T., Barlow, K. E., Bartonicka, T., Feller, D., Haarsma, A., Herzog, C., Horacek, I., van der Kooij, J., Mulken, B., Pretov, B., Reynolds, R., Rodrigues, L., Stihler, C. W., Turner, G. G. y Kilpatrick, A. M. 2015. Disease alters macroecological patterns of North American bats. *Global Ecology and Biogeography*. 24: 741-749.
- Gaston, K. J. 2003. *The structure and dynamics of geographic ranges*. Oxford University Press. Oxford. Reino Unido.
- Grinnell, J. 1917. The niche-relationships of the California Trashers. *Auk*. 34: 427-433.
- GBIF. [En línea]: Global Biodiversity Information Facility. <<http://www.gbif.org>> [Consulta: 13 de Febrero de 2017].
- Groombridge, B. 1993. *The 1994 IUCN Red List of threatened animals*.

Hallam T.G. y Federico P. 2012. The Panzootic White-nose Syndrome: An Environmentally Constrained Disease? *Transboundary and Emerging Diseases* 59:269-278.

Hutchinson, G. E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*. 22: 415-427.

Hutson, A. M., Mickleburgh, S. P. y Racey, P. A. 2001. *Microchiropteran Bats: global status survey and conservation action plan*. The nature Conservation Bureau Ltd. United Kingdom.

IUCN. 2018. *IUCN Red List Categories*. Prepared by IUCN Species Survival Commission.

Kunz, T. H. y Reichard, J. D. 2009. Status review of the little brown *Myotis (Myotis lucifugus)* and determination that immediate listing under the endangered species act is scientifically and legally warranted. Boston University's Center for Ecology and Conservation Biology.

Martínková, N., Backor, P., Bartonicka, T., Blazkova P., Cervený, J., Falteisek, L., Gaisler, J., Hanzal, V., Horáček, D., Hubálek, Z., Jahelková H., Kolarik, M., Korytár L., Kubátova A., Lehotská, B., Lehotský, R., Lucán, R., Májek, O., Mateju, J., Rehák, Z., Safár J., Tájek, P., Tkadlec, E., Uhrin, M., Wagner, J., Weinfurtová, A., Zima, J., Zukal, J. y Horáček I. 2010. Increasing incidence of *Geomyces destructans* fungus in bats from the Czech Republic and Slovakia. *PLOS one*. 7: 1-7.

Matson, J. O. 1975. *Myotis planiceps*. *Mammalian Species*. The American Society of Mammalogists. 60:1-2.

Medellín, R. A., Arita, H. y Sánchez, O. 1997. *Identificación de los murciélagos de México. Clave de Campo. Segunda Edición*. Instituto de Ecología, UNAM. México.

Mehlhorn, H. y Klimpel S. 2014. *Bats (Chiroptera) as a Vectors of Diseases and Parasites Facts and Myths*. Springer- Verlag. Berlín.

Messenger S. L., Rupprecht C. E. y Smith J. S. 2003. Bats, emerging virus infections, and the rabies paradigm. Pp. 622-679 en *Bat Ecology* (Kunz, T. H. y Fenton M. B. eds.). The University of Chicago Press, Chicago, E.U.A.

Meteyer, C. U., Buckles, E. L., Blehert, D. S., Hicks, A. C., Green, D. E., Shearn-Bochsler V., Thomas, J. N., Gargas, A. y Behr J. M. 2009. Histopathologic criteria to confirm white-nose syndrome in bats. *Journal of Veterinarian Diagnostic Investigation*. 21: 411-414.

Neuweiler, G. 2000. *The Biology of Bats*. Oxford University Press. 262-300.

Newbold, T. 2010. Applications and limitations of museum data for conservation and ecology, with particular attention to species distribution models. *Progress in Physical Geography*. 34: 3-22.

Nowak R. M. 1999. *Walker's Mammals of the World*. Volúmen 1. Sexta Edición. The Johns Hopkins University Press. E. U. A.

Langwig K.E., Frick W.F., Bried J.T., Hicks A.C., Kunz T.H. y Marm Kilpatrick A. 2012. Sociality, density-dependence and microclimates determine the persistence of populations suffering from a novel fungal disease, white-nose syndrome. *Ecology Letters* 15:1050-1057.

Lafarchia C., Eatwell. K., Jansson D. S., Meteyer C. U. y Wibbelt G. 2012. Other fungal infections. Pp 466-475 en *Infectious Diseases of Wild Mammals and Birds in Europe* (Gavier-Widén, D., Duff J. D. y Meredith A., eds.). Blackwell Publishing, Ltd. Reino Unido.

Li, V. L., Victoria, J. G., Wang, C., Jones, M., Fellers, M., Kunz, T. H. y Delwart, E. 2010. Bat guano virome: predominance of dietary viruses from insects and plants plus novel mammalian viruses. *Journal of Virology*. 14: 6955-6965.

Liria, J. y Navarro, J. C. 2010. Modelo de nicho ecológico en *Haemogogus Williston* (Dipera: Culicidae), vectores del virus de la fiebre amarilla. *Revista Biomédica*. 21: 149-161.

Lorch, J. M., Muller, L. K., Rusell, R. E., O'Connor, M., Linder, D. L. y Blehert, D. S. 2013. Distribution and environment persistence of the causative agent of white nose syndrome, *Geomyces destructans*, in bat hibernacula of the eastern United States. *Applied and Environmental Microbiology*. 79: 1293-1301.

Omatsu, T., Watanabe, S., Akashi, H. y Toshikawa, Y. 2007. Biological characters of bats in relation to natural reservoir or emerging viruses. *Comparative Immunology, Microbiology & Infectious diseases*. 30: 357-374.

Parra-Henao G. 2010. Sistemas de información geográfica y sensores remotos. Aplicaciones en enfermedades transmitidas por vectores. *Revista CES Medicina*. 24:75-9.

Pearson R. G., Thuiller W., Araújo M. B., Martínez-Meyer E., Brotons L., McClean C., Miles L., Segurado P., Dawson T. P. y Lees D. C. 2006. Model-based uncertainty in species range prediction. *Journal of Biogeography*. 33: 1704-1711.

Pearson, E. D. 1998. Fall trees, deep holes and scared landscapes *Conservation Biology of North American Bats*. Pp 247-326 in *Bat Biology and Conservation* (Kunz T. H. y Racey P. A. eds). Smithsonian Institution Press. E.U.A.

Peterson, A. T. 2006. Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models. *Biodiversity Informatics*. 3: 59-72.

Peterson, A. T. 2006. Ecological niche modeling and spatial patterns of disease transmission. *Emerging Infectious Diseases*. 12: 1822-1826.

Peterson, A. T. 2007. Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. *Ecography*. 30: 550-560.

Peterson, A. T., Soberón J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E. y Araujo, M. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University Press. Princeton, Nueva Jersey.

- Phillips, S., Anderson, R., Schapire, R. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol Mod* 190: 231–259.
- Puechmaille, J. S., Verdeyroux, P., Fuller, H., Gouilh, A. M., Bekaert, M. y Teeling, C. E. 2010. White-nose syndrome fungus (*Geomyces destructans*) in bat, France. *Emerging infectious diseases*. 16: 290-293.
- Puechmaille, J. S., Frick, W. F., Kunz, T. H., Racey, P. A., Voigt, C. C., Wibbelt, G. y Teeling, E. C. 2011. White-nose syndrome: is this emerging disease a threat to european bats? *Trends in Ecology and Evolution*. 26: 570-576.
- Ruedi M. y Mayer F. 2001. Molecular Systematics of Bats and the Genus *Myotis* (Vespertilionidae) Suggest Deterministic Ecomorphological Convergences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 21: 436-448.
- Sánchez-Cordero, V., Peterson, A. T., Martínez-Meyer, E. y Flores, R. 2005. Distribución de roedores reservorios del virus causante del síndrome pulmonar por hantavirus y regiones de posible riesgo en México. *Acta Zoológica Mexicana*. 21(3): 79-91.
- Simmons, N. B. 2005. Order Chiroptera. Pp. 312-529 en *Mammal species of the World: a taxonomic and geographic reference* (Wilson D. E. y Reeder D. M. eds) Johns Hopkins University Press. Baltimore, Maryland, E.U.A.
- Soberón, J. y Peterson, T. 2004. Biodiversity informatics. *Phil. Trans. Royal Society Lond.* B. 359: 689-698
- Smith, G. C., Marion, G., Rushton, S., Pfeiffer, D., Thulke, H. H., Eisinger, D. y Hutchings, M. R. 2009. Modelling disease dynamics and management scenarios. Pp 53-77 en *Management of Disease in Wild Mammals* (Delahay, R. J., Smith, G. C. y Hutchings, M. R. eds.). Springer, E.U.A.

Taylor, M. L., Chávez-Tapia, C. B., Vargas-Yañes, R., Rodrigues-Arellanes, G., Peña-Saldoval, G. R., Toriello, C., Pérez, A. y Reyes-Montes, M. R. 1999. Environmental conditions favoring bat infection with *Histoplasma capsulatum* in mexican shelters. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene. 61: 914-919.

Tuttle, M. D. 2013. Threats to Bats and Educational Challenges. Pp 363-391 en Bat Evolution, Ecology and Conservation (Adams R. A. y Pedersen S. C. eds.). Springer Science +Business, Nueva York, E.U.A.

United States Fish and Wildlife Service, 2012 – North American bat death toll exceeds 5.5 million from white-nose syndrome (Notificación 17 de Enero). Recibido de:  
[http://static.whitenosesyndrome.org/sites/default/files/files/wns\\_mortality\\_2012\\_nr\\_final\\_0.pdf](http://static.whitenosesyndrome.org/sites/default/files/files/wns_mortality_2012_nr_final_0.pdf)

Villa, B. 1966. Los murciélagos de México: Su importancia en la economía y salubridad- su clasificación sistemática. Instituto de Biología, UNAM. México.

Van der Plank, J. E. 1963. Plant diseases: epidemics and control. Academic, Nueva York.

Warren D. L., Glor R. E. y Turelli M. 2008. Environmental niche equivalency versus conservatism: Quantitative approaches to niche evolution. Evolution. 62-11: 2868-2883.

Warren, L. D., Glor, E. R. y Turelli, M. 2010. ENMTools: A toolbox for comparative studies of environmental niche modelings. Ecography. 33: 607-611.

Warren, L. D. 2012. In defense of niche modeling. Trends in Ecology and Evolution. 27: 497-500.

Weller, T., Cryan, P., O'Shea, T. 2009. Broadening the focus of bat conservation and research in the USA for the 21<sup>st</sup> century. Endangered Species Research. 8: 129-145.

Wibbelt G., Moore M. S., Schountz T. y Voigt C. C. 2010. Emerging diseases in Chiroptera; Why bats? Patogen Biology. 6: 438-440.



Wilson D. E. y Reeder D. M. 2005. Mammals Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference. Tercera Edición. Johns Hopkins University Press. E. U. A.

Wilson D. 2007. Mammals of South America. The University of Chicago Press. E. U. A.

Wisz, M. S., Hijmans, R. J., Peterson, A. T., Graham, C. H., Guisan, A. y NCEAS. Predicting Species Distributions Working Group. 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*. 14: 763-773.

World Clim. [En línea] <<http://www.worldclim.org>> [Consulta: 13 de Febrero de 2017]