
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

**Distribución potencial de tres especies de lepidópteros de la
familia *Sphingidae* de Norteamérica**

QUE PRESENTA EL ALUMNO (A)

Escamilla Herrera María del Pilar

2143023930

ASESORES:

Dra. Martha Rodríguez Gutiérrez

UAM Xochimilco

Laboratorio de Reproducción, Genética y Sanidad Acuícola

Número económico: 3059

Dra. Angela Nava Bolaños

Instituto de Biología-UNAM

Laboratorio de Análisis Espaciales

Ciudad de México

Noviembre de 2019

ÍNDICE

RESUMEN	4
Palabras clave	4
INTRODUCCIÓN.....	5
ANTECEDENTES	6
La Clase Insecta y la importancia del Orden Lepidóptera	6
La Familia Sphingidae	8
Diversidad	8
Biología y ecología	8
<i>Hemaris thysbe</i>	9
<i>Darapsa choerilus</i>	12
<i>Sphinx gordius</i>	14
El concepto de Nicho Ecológico	16
El concepto de nicho ecológico en la actualidad.	17
Los Modelos de Nicho Ecológico	18
Maxent	20
Modelos de nicho ecológico en Lepidópteros.....	21
El contexto actual del Orden Lepidoptera y la familia <i>Sphingidae</i> ante la degradación ambiental.	23
Relevancia económica.	23
OBJETIVOS	24
Objetivo general.....	24
Objetivos particulares	24
METODOLOGÍA.....	24
Selección de Especies	24
Construcción de los modelos de nicho ecológico	24
RESULTADOS.....	25
Registros de ocurrencia y variables bioclimáticas	26
Configuración de los modelos.....	27
Distribución potencial.....	30
DISCUSIÓN	37
Distribución potencial.....	37

Factores que limitan la distribución potencial	38
Relevancia económica	39
CONCLUSIÓN	40
LITERATURA CITADA	40
ANEXOS	50

RESUMEN

El orden Lepidóptera, que actualmente están disminuyendo a un ritmo más acelerado que el promedio anual de 1.8%, de acuerdo con Sánchez-Bayo y Wyckhuy (2019), es uno de los más diversos de la Clase Insecta y sus especies cumplen con importantes servicios ambientales como la polinización, proveen de variabilidad genética a las plantas, constituyen una fuente de alimento para vertebrados e invertebrados, son controladores de algunas especies de plantas invasoras, y bioindicadores del estado del ecosistema. De este orden, las especies de la familia *Sphingidae* se destacan por ser polinizadoras muy especializadas ya que, muchas plantas requieren particularmente de estas polillas para su reproducción porque el largo de su probóscide se relaciona directamente a la longitud de las corolas de algunas flores. Sin embargo, a pesar su importancia como polinizadoras, en la actualidad aún existe un gran vacío de información sobre su distribución potencial y los efectos que provocan en hábitat donde se distribuyen. Por tal motivo se seleccionó a las especies *Hemaris thysbe*, *Darapsa choerilus* y *Sphinx gordius*, de la familia *Sphingidae*, que se distinguen como polinizadoras relevantes de especies comerciales, ornamentales, medicinales y silvestres, para modelar su distribución potencial, en uno de los territorios con mayor degradación ambiental como lo es Norteamérica. Los modelos se ejecutaron en el software *MAXENT* (versión 3.4.1.) con distintas calibraciones de regularización y prevalencia, haciendo uso de las capas bioclimáticas de *Worldclim* con resolución espacial de 0.0416 grados decimales y fueron validados de acuerdo con los valores de AUC. Los modelos de distribución mostraron una restricción hacia la zona este, a los bosques templados, mixtos y pastizales, zona que presenta un mayor grado de fragmentación y contaminación en Norteamérica. La especie *H. thysbe* presentó un rango más amplio de distribución, seguida de *D. choerilus* y *S. gordius*. El objetivo de este trabajo fue ampliar el conocimiento que existe en referencia a la distribución potencial de estas especies y los vínculos e interacciones que forjan con los distintos componentes de estas regiones, y que esta información pueda contribuir a estrategias para la conservación de polillas polinizadoras.

Palabras clave

Modelos de nicho ecológico, Lepidóptera, *Sphingidae*, distribución potencial, *Hemris thysbe*, *Darapsa choerilus*, *Sphinx ordius*.

INTRODUCCIÓN

El 53% de las especies de organismos conocidos y el 75% de todas las especies de animales corresponde a la clase Insecta (McNeely *et al.*, 1990; Stork, *et al.*, 2015; Zumbado-Arrieta y Azofeifa-Jiménez, 2018). El Orden Lepidóptera (mariposas y polillas) constituye el 10% de la diversidad de todas las especies descritas (Mallet, 2007). Los lepidópteros desempeñan un papel ecológico muy importante como fuente primaria de alimento para vertebrados diurnos y nocturnos, insectos parasitoides, así como por ser polinizadores, plagas forestales o agrícolas, por lo que son de una gran importancia antrópica y biológica por los beneficios o daños que causan tanto económica como ecológicamente (Ghazanfar, *et al.*, 2016; Goldstein, 2017). Algunas especies de lepidópteros son utilizadas como agentes controladores de especies invasoras de plantas y debido a su abundancia, su estabilidad espacio temporal y la sensibilidad que presentan a los cambios en la temperatura, el microclima, la humedad y el nivel de luminosidad, son considerados como organismos bioindicadores de las transformaciones antropogénicas del paisaje (Ehrlich *et al.*, 1964; Ghazanfar, *et al.*, 2016; Goldstein, 2017).

Del Orden Lepidóptera, las polillas de la familia *Sphingidae* se encuentran entre los lepidópteros más estudiados y comprenden aproximadamente 1400 especies (Borror, 1989; Kitching y Cadiou, 2000 y van Nieukerken *et al.*, 2011), de las cuales más de 127 especies descritas son propias de Norteamérica (Tuttle, 2007). Los esfíngidos son considerados un componente esencial en los ecosistemas tropicales ya que poseen roles significativos como herbívoros y polinizadores; esto último debido a que su larga probóscide, en muchos casos más larga que su cuerpo se relaciona a plantas con flores especializadas de corolas largas, que dependen completamente de estas polillas para la polinización. (Chiquetto - Machado, *et al.*, 2018; Johnson y Raguso 2016). Una situación que pone en riesgo la supervivencia de las polillas de la familia *Sphingidae* en Norteamérica es que, en términos absolutos en 2010 se encontró que, Estados Unidos de Norteamérica ocupa el segundo lugar dentro de los países con mayor impacto ambiental, lo que involucra un mayor rango de pérdida de bosque natural, de conversión de hábitat natural, uso de fertilizantes, emisiones de carbono, contaminación del agua, de captura marina y una mayor proporción de especies amenazadas. Asimismo, países de la región norte del continente como México se encuentran en el sexto lugar para este ranking, seguido de Canadá en el doceavo lugar (Bradshaw, *et al.*, 2010).

Aunado a esto la población mundial de insectos se encuentra en un acelerado declive, en el que los lepidópteros están disminuyendo a un ritmo más acelerado que el promedio anual que es de 1.8% con una tasa de extinción del 11% de acuerdo con Sánchez-Bayo y Wyckhuys, (2019), y la falta de información que existe sobre los efectos que los insectos tienen en el ecosistema hace más difícil predecir las consecuencias de su extinción. De la misma manera, para la producción agrícola, el hombre depende en un 75% de la polinización de insectos, la cual tuvo un valor estimado de 153 billones de euros a nivel global durante el año 2005 (Potts, *et al.*, 2010) y está vinculada principalmente a las abejas (*Apis mellifera*) y abejorros silvestres. El gobierno de Estados Unidos en 2014, estimó que los polinizadores contribuyen con más de 24 billones de dólares a la economía de este país, donde 15 billones corresponden a la polinización por abejas, pero a pesar de que existen otras especies caracterizadas por ser polinizadoras o

huéspedes de distintas familias de plantas como los esfíngidos, existe un profundo vacío de información sobre el impacto que generan las mariposas y polillas en el ecosistema y por tanto en la economía. Por tal motivo, se realizó una búsqueda con relación a los servicios ecosistémicos de la familia *Sphingidae* en la base de datos *Web of science* de la literatura global de todos los años, revisada por pares (peer-review), en la que las especies *Hemaris thysbe*, *Darapsa choerilus* y *Sphinx gordius* resultaron particularmente interesantes debido a que *H. thysbe* es una especie carismática (especie popular que sirve como símbolo y estimula la conciencia pública hacia la importancia de conservar la biodiversidad y puede llegar a liderar una campaña de conservación (Simberloff 1998) muy abundante en suburbios y zonas urbanas, que es señalada como polinizadora de la planta en peligro de extinción *Oenothera deltoides* y de algunas especies de orquídeas; mientras que *S. gordius*, poliniza a las plantas extranjeras adaptadas a Norteamérica tales como: *Saponaria officinalis* y *Syringa vulgaris*, que tienen usos medicinales y ornamentales respectivamente y *D. choerilus* es polinizadora nocturna de plantas silvestres cuya relevancia radica en que permite conservar la diversidad genética de estas plantas de la misma manera que *H. thysbe* y *S. gordius* (Tuttle, 2007), lo que brinda una mayor resiliencia a las especies y ecosistemas ante distintos disturbios. Estas especies, además, son poco estudiadas con relación a los servicios ecosistémicos que brindan a largo plazo, su valor económico y su estatus, por lo que fueron seleccionadas para modelar su distribución potencial, a través del modelado de nicho ecológico, ya que al ser importantes polinizadoras y huéspedes de distintas familias de plantas, representan una oportunidad para ampliar el conocimiento que existe con referencia a las plantas que hospedan, las regiones que habitan y a tratar de entender los vínculos e interacciones que generan con los distintos componentes de estas regiones para que, de esta manera este trabajo pueda repercutir a futuro en estrategias para su conservación.

ANTECEDENTES

La Clase Insecta y la importancia del Orden Lepidóptera

La clase Insecta conforma aproximadamente 1.5 millones de todas las especies descritas actualmente, lo que representa más de la mitad de los organismos conocidos (53%) y de todas las especies de animales conocidos el 75% son insectos (Fig. 1 y 2) (Mallet, 2007; Zumbado-Arrieta y Azofeifa-Jiménez, 2018). La biodiversidad mundial de esta clase se distribuye principalmente en 4 órdenes: Coleóptera, Díptera, Himenóptera y Lepidóptera, esta última con 180, 000 especies descritas actualmente, (The Lepidoptera taxome Project, 2019), o aproximadamente el 10% de todas las especies identificadas (Fig. 2) (Mallet, 2014).

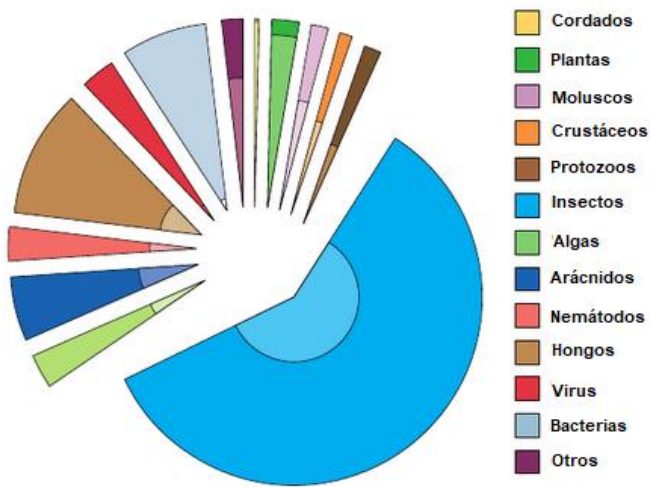


Figura 1.- Riqueza de especies en los distintos taxones, tomado de Purvis y Hector (2000)

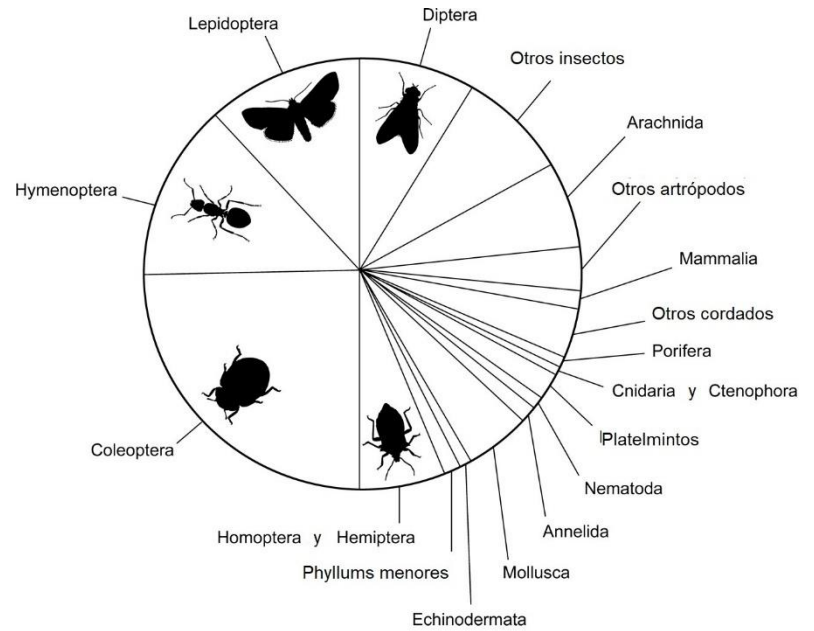


Figura 2.- Proporciones relativas del número de especies de los grupos animales; tomado de Schminke (2006)

Los lepidópteros son ampliamente conocidos por su importancia económica, étnica y cultural, por ser especies carismáticas cuyo valor estético propicia técnicas para su manejo y conservación que influyen en la conservación de otras especies de insectos (Ramos-Elourdy, *et al.*, 2011; Goldstein, *et al.*, 2017) y esencialmente por brindar servicios ecosistémicos relevantes para el funcionamiento del ecosistema a lo largo de su ciclo de vida, (Ehrlich y Raven, 1964; Ghazanfar, *et al.*, 2016; Goldstein, 2017) como:

- 1) La polinización,
- 2) Permiten la variación genética entre especies de plantas,
- 3) Reducen la contaminación (mediante la herbívora que provoca un crecimiento en las plantas y tiene como consecuencia una mayor absorción de CO₂)
- 4) Constituyen una fuente primaria de alimento para vertebrados diurnos y nocturnos e insectos parasitoides
- 5) Algunas especies son utilizadas como agentes controladores de especies invasoras de plantas
- 6) Son considerados como organismos bioindicadores de las transformaciones antropogénicas del paisaje o futuras amenazas en el ecosistema debido a su abundancia, su estabilidad espacio temporal y la sensibilidad que presentan a los cambios en la temperatura, el microclima, la humedad y el nivel de luminosidad.

Además, muchos lepidópteros son consumidos en su etapa larval alrededor del mundo por grupos étnicos debido a su aporte nutricional. No obstante, la importancia antrópica de los lepidópteros, no solo se relaciona con la calidad y proporción de las funciones ecosistémicas, sino por los daños que causan tanto económica como ecológicamente, ya que muchas especies son consideradas plagas forestales o agrícolas,

que generalmente se presentan en su estado larvario como foliadores o minadores (Ehrlich y Raven, 1964; Ramos-Elourdy, *et al.*, 2011 y Goldstein, 2017).

Por otra parte, debido al proceso coevolutivo entre los lepidópteros como huéspedes (en su estado larvario) de distintas especies de plantas, la biología y geografía de las mariposas se encuentra altamente relacionada a las interacciones competitivas y estresantes de la planta hospedera, por lo que estas plantas albergan la clave de los cambios en el estado de la mariposa (Dennis, *et al.*, 2004), por esta razón la dinámica poblacional y las presiones antrópicas sobre las plantas hospederas tienen consecuencias en el desarrollo y variaciones en todos los indicadores de diversidad de los lepidópteros y viceversa.

La Familia Sphingidae

Diversidad

La familia *Sphingidae* es uno de los grupos de lepidópteros mejor estudiados y pertenece a los macrolepidópteros, que incluyen más de la mitad de las especies descritas en los lepidópteros. Son conocidos como “polillas halcón” y comprenden 1400 especies (van Nieukerken *et al.*, 2011 y Stork, *et al.*, 2015) (Fig. 3), que se distribuyen de manera global, alcanzando su mayor diversidad en los trópicos. Más de 127 especies descritas son propias de Norteamérica (Tuttle, 2007).

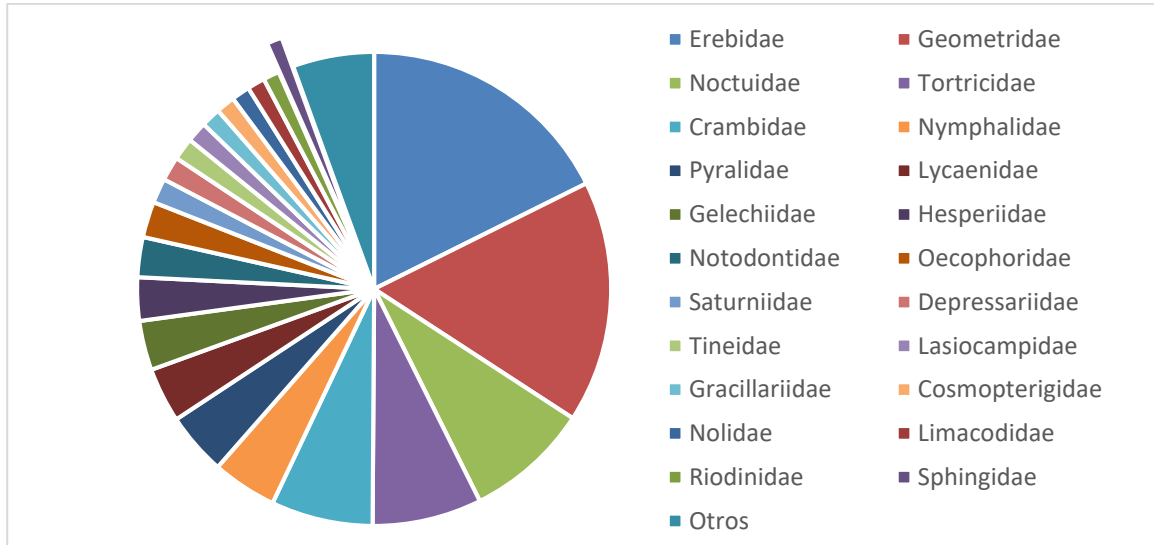


Figura 3.- Familias con mayor diversidad de especies del Orden Lepidóptera (creado a partir de Goldstein, 2017; considerando a familias con >1000 especies)

Biología y ecología

La mayoría de las especies de esfíngidos poseen un tamaño mediano a grande, aunque existen especies pequeñas. Los adultos presentan un cuerpo robusto de forma alargada y elipsoide, con las alas anteriores largas y angostas. Las alas posteriores son más reducidas, redondeadas y están generalmente ocultas cuando el organismo se encuentra en reposo. Por lo general el abdomen termina en punta. Los ojos sobresalen del rostro y son grandes, las antenas son filiformes y parecen terminar en un gancho. Los esfíngidos se caracterizan por ser muy veloces al vuelo por ello son los lepidópteros más veloces, capaces de cubrir grandes distancias. Las orugas son regularmente verdes o marrones y se caracterizan por tener un “cuerno” al final del cuerpo. En general son huéspedes de una amplia variedad de plantas (Núñez-Bustos, 2015).

Los esfíngidos son un componente importante en los ecosistemas tropicales, ya que desempeñan papeles importantes como herbívoros y polinizadores. Los adultos en regiones tropicales y subtropicales polinizan un gran número de especies de plantas que dependen particularmente de estas polillas para su reproducción sexual. Lo anterior se relaciona a que algunas especies presentan probóscides que superan los 20 cm de longitud, las piezas bucales de mayor tamaño conocido en la clase Insecta, y estos esfíngidos con probóscide prolongada son los únicos polinizadores de especies de plantas con corolas largas. Una disminución en la abundancia de esfíngidos con este tipo de probóscide puede provocar desequilibrios entre plantas y polinizadores, dificultando la reproducción de las plantas. Un caso interesante lo representa la especie neotropical *Amphimoea walkeri*, cuyos individuos pueden presentar probóscides de hasta 28 cm de longitud. Por el contrario, algunas especies presentan una probóscide reducida, delgada, frágil y que no es funcional para libar néctar de las flores. Dado que las larvas son foliadoras, principalmente en el último estadio de desarrollo, pueden infringir daños considerables en algunos cultivos (Moré *et al.*, 2014 y Chiquetto-Machado, *et al.*, 2018).

Hemaris thysbe

Las polillas de la especie *Hemaris thysbe* se conocen también como las polillas colibrí ya que vuelan, se mueven como los colibríes y al igual que ellos, pueden permanecer al vuelo frente a una flor mientras liban el néctar e incluso emiten un zumbido como los colibríes (Fig. 4, C). Miden de 4 a 5.5 cm aproximadamente con alas expandidas. Son bastante anchos; la punta de su cola se abre como un abanico. Existe una significativa variación en la coloración entre individuos, pero por lo general, la parte posterior de la polilla es de verde olivo dorado en el tórax y de color rojizo a negro con manchas claras en el abdomen. La parte inferior de la polilla es de color blanco a amarillo en el tórax y en el abdomen suele ser de los mismos colores que la parte posterior (Fig. 4, B) A medida que comienza a volar, las escamas se caen dejando las alas mayormente transparentes entreviéndose las venas de color marrón rojizo (Fig. 4, C) (Hodges; 1971; Covell, 1984; Tuttle, 2007; Butterflies and Moths of North America (BAMONA), 2018 y Sphingidae of the United States of America, 2019).

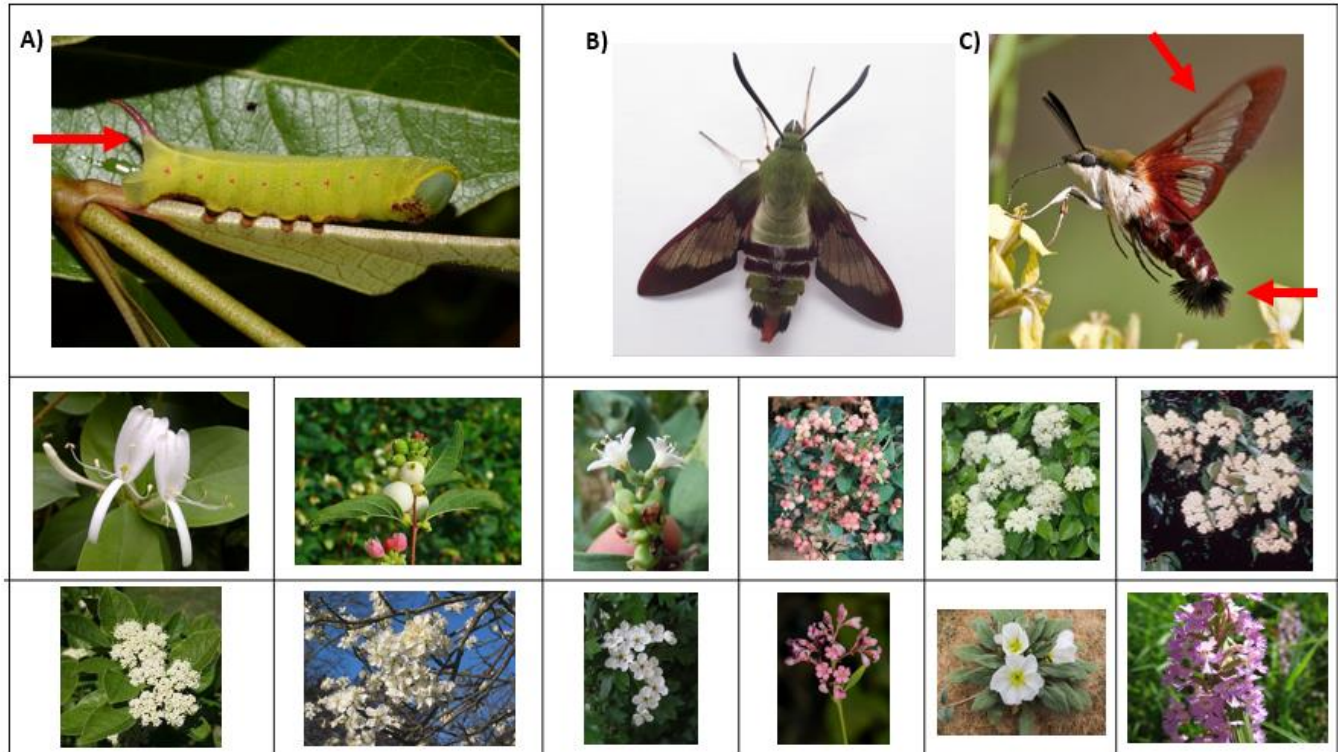


Figura 4.- Estadios de desarrollo (juvenil A) y adulto B) y C) y plantas hospedadas y polinizadas por de *Hemarys thysbe* (de izquierda a derecha: *Lonicera sp.*, *Symphoricarpos albus*, *Abelia sp.*, *Symphoricarpos racemosus*, *Viburnum opulus*, *V. lentago*, *V. nudum*, *Prunus sp.*, *Crataegus sp.*, *Apocynum sp.*, *Oenothera deltooides* y *Platanthera sp.*) Imágenes de *H. thysbe* por Kesting-Handl, 2018 tomado de Sphingidae of the United States of America

La oruga *H. thysbe* es de color verde amarillento con bandas de color verde oscuro y marrón rojizo a marrón oscuro (Fig. 4, A). Se entierra en el suelo para pasar el invierno como una pupa marrón de cáscara dura. Presenta al igual que muchas larvas de esfíngidos una protuberancia en forma de cuerno en su último segmento. A finales de la primavera, emerge como una polilla adulta. *H. thysbe* pone huevos verdes en la parte inferior de las hojas de las plantas, que eclosionan en aproximadamente una semana. Dos o cuatro semanas después, una polilla emerge para un segundo ciclo de reproducción antes del final del verano en climas del sur; mientras que en climas del norte, tiene un solo ciclo de apareamiento por año (Hodges; 1971 y Butterflies and Moths of North America, 2018).

Las plantas hospederas de *Hemaris thysbe* pertenecen a las familias *Caprifoliaceae*, *Adoxaceae*, *Rosaceae*, *Apocynaceae* y *Asclepiadoideae*, cuyas especies propias de Norteamérica se destacan por su importancia étnica como especies medicinales, consumibles, utilizadas en la creación de fibras, algunas son relevantes económicamente como maderables y muchas son cultivadas con fines ornamentales y por su relevancia biológica ya que constituyen una fuente de alimento y refugio para mamíferos, aves, e insectos (tabla1). Son huéspedes de la especie *Symphoricarpos albus* un importante recurso alimenticio de aves y mamíferos y que se cultiva en proyectos de restauración ecológica (McWilliams, 2000), así como de especies del género *Lonicera*, que son consideradas como importantes restauradoras de la calidad del aire ya que absorben una gran cantidad de partículas responsables de la contaminación (Heusinkveld y Lelieveld, 2016)

(tabla1). *H. thysbe* también hospeda a las especies *Viburnum dentatum*, *V. lentago* y *V. nudum* y especies del género *Apocynum*, que se caracterizan por ser ornamentales y de importancia étnica por sus propiedades medicinales, gastronómicas y en el caso de *Apocynum* para la elaboración de fibras, además de que brindan un recurso alimenticio a algunas aves, de las cuales *V. lentago* los frutos son también comestibles para el ser humano (Keeler,1915; Rousseau, 1947; Smith *et al.*, 2007).

H. thysbe es comúnmente observada en suburbios y zonas urbanas que presentan una gran cantidad de plantas exóticas y también se observa en pastizales o hábitats de segundo crecimiento (Hodges; 1971; Covell, 1984; Tuttle, 2007; Butterflies and Moths of North America, 2018 y Sphingidae of the United States of America, 2019). Es el principal polinizador de algunas especies de orquídeas silvestres del género *Platanthera* y también poliniza a la especie en peligro de extinción *Oenothera deltoides* (tabla1) por lo que puede considerarse una especie generalista (Nicholson, 1999; Argue, 2011; BAMONA, 2018).



Figura 5.- *Hemaris thysbe* libando néctar al vuelo. (Tomada de Lusk, 2019).

Tabla 1.- Taxa de plantas que interactúan con *Hemaris thysbe*

Familia	Género	Especie	Interacción
Adoxaceae	<i>Viburnum</i>	-	Huéspedes
Adoxaceae	<i>Viburnum</i>	<i>opulus</i>	Huéspedes
Caprifoliaceae	<i>Abelia</i>	-	Huéspedes
Caprifoliaceae	<i>Lonicera</i>	-	Huéspedes
Caprifoliaceae	<i>Symphoricarpos</i>	-	Huéspedes
Caprifoliaceae	<i>Symphoricarpos</i>	<i>Albus/ racemosus</i>	Huéspedes
Caprifoliaceae	<i>Viburnum</i>	<i>dentatum</i>	Huéspedes
Caprifoliaceae	<i>Viburnum</i>	<i>lentago</i>	Huéspedes
Caprifoliaceae	<i>Viburnum</i>	<i>nudum</i>	Huéspedes
Rosaceae	<i>Crataegus</i>	-	Huéspedes
Rosaceae	<i>Prunus</i>	-	Huéspedes
Apocynaceae	<i>Apocynum</i>	-	Huéspedes
Asclepiadoideae	-	-	Huéspedes
Onagraceae	<i>Oenothera</i>	<i>deltoides</i>	Polinización
Orchidaceae	<i>Platanthera</i>	-	Polinización
Orchidaceae	<i>Platanthera</i>	<i>peramoena</i>	Polinización
Orchidaceae	<i>Platanthera</i>	<i>grandiflora</i>	Polinización

Orchidaceae	<i>Platanthera</i>	<i>psycodes</i>	Polinización
Orchidaceae	<i>Platanthera</i>	<i>Lacera</i>	Polinización
Orchidaceae	<i>Platanthera</i>	<i>Ciliaria</i>	Polinización
Orchidaceae	<i>Platanthera</i>	<i>blephariglottis</i>	Polinización

Darapsa choerilus

Darapsa choerilus mide de 5.7 a 7.5 cm con alas expandidas; en su estadio adulto el ala anterior es de color marrón rojizo a anaranjado con una mancha discal u ondulada (Fig. 6, B), sombreada en el área media; tienen un parche en forma de media luna y de color pálido con márgenes ondulados en el margen exterior; el ala posterior es anaranjada a amarillenta en el margen interior (Fig. 6, C). La larva tiene la cabeza y parte delantera del tórax delgadas (el cuerpo es más grueso a partir del tercer segmento torácico) (Fig. 6, A); es verde con numerosos puntos verde pálido o amarillos y presenta líneas diagonales de color pálido en cada segmento. Al igual que muchas larvas de esfíngidos tiene una protuberancia en forma de cuerno en su último segmento (Fig. A) y el color de su cuerpo cambia a marrón rojizo poco antes de pupar (Hodges; 1971; Covell, 1984; Tuttle, 2007; Butterflies and Moths of North America, 2018 y Sphingidae of the United States of America, 2019).

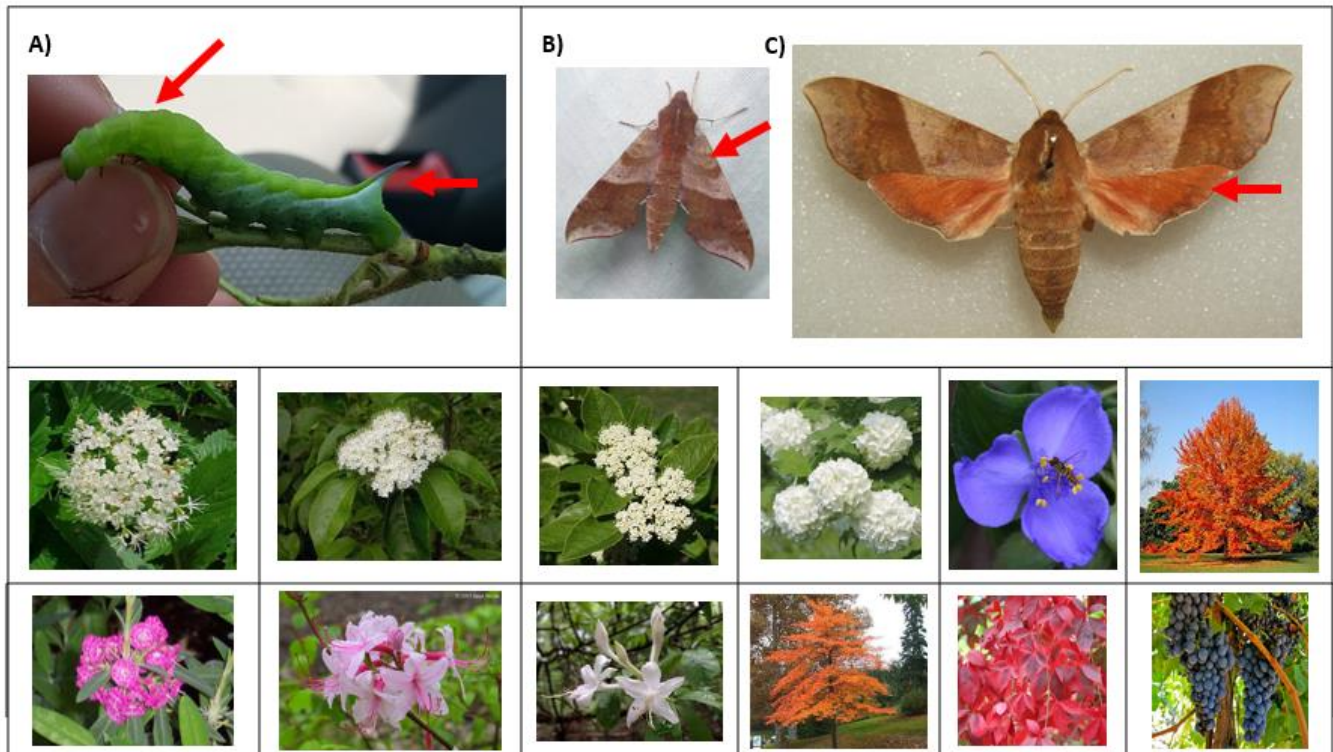


Figura 6.- Estadios de desarrollo (juvenil A) y adulto B) y C)) y plantas hospedadas por *Darapsa choerilus* (de izquierda a derecha: *Viburnum dentatum*, *V. lentago*, *V. nudem*, *V. opulus*, *Tradescantia virginiana*, *Nyssa sylvatica*, *Kalmia angustifolia*, *Rhododendron periclymenoides*, *R. viscosum*, *Parthenocissus quinquefolia* y *Vitis vinifera*). Imágenes de *D. choerilus* por Baranowski, Kesting-Handl, 2018 tomado de Sphingidae of the United States of America 2018 y Hanrahan de la colección de insectos de Texas, s. f..

La especie *D. choerilus* es huésped de plantas de las familias *Adoxaceae*, *Caprifoliaceae*, *Commelinaceae*, *Cornaceae*, *Ericaceae*, *Nyssaceae*, *Vitaceae*, *Hydrangeaceae*, *Lythraceae* y *Rubiaceae* (tabla 2); (Hodges; 1971; Covell, 1984; Tuttle, 2007; BAMONA, 2018 y Sphingidae of the United States of America, 2019). De la misma manera que *H. thysbe* también hospeda a las especies *Viburnum dentatum*, *V. lentago*, *V. opulus* y *V. nudum* conocidas como ornamentales, de importancia étnica y biológica ya que constituyen una fuente de alimento para algunos vertebrados (Keeler, 1915; Rousseau, 1947; Smith *et al.*, 2007). *D. choerilus* es además huésped de *Vitis vinífera*, que es una especie comercial con la que se produce vino. Es también huésped de las especies *Kalmia angustifolia* y *Parthenocissus quinquefolia* que se cultivan con fines ornamentales y esta última que representa una fuente de alimento para algunas aves (Walters, 2000; Tull, 2013). Asimismo, *D. choerilus* hospeda a *Nyssa sylvatica*, *Rhododendron periclymenoides* y especies del género *Valeriana*, (tabla 2) la primera es un árbol que se caracteriza por brindar alimento a aves y mamíferos debido a que produce miel silvestre, se utiliza en apicultura, es ornamental y es aprovechada la madera (Crane, 1999). *R. periclymenoides* es una especie relevante debido a que evita la erosión de los suelos y protege las cuencas hidrográficas (Coladonato, 1992); y por último las especies del género *Valeriana* que son conocidas e investigadas por sus usos medicinales. *D. choerilus* habita bosques deciduos y áreas asociadas, al igual que sus plantas hospederas. Puede tener de una a varias generaciones por año, dependiendo de la latitud. Las larvas pupan en la hojarasca, en la base de la planta hospedante, formando un capullo con la unión de varias hojas y algunos hilos de seda; los adultos vuelan de junio a agosto en el norte y en el sur de marzo a septiembre (Hodges; 1971; Covell, 1984; Tuttle, 2007; BAMONA, 2018 y Sphingidae of the United States of America, 2019).

Tabla 2.- Taxa de plantas que interactúan con *Darapsa choerilus*

Familia	Género	Especie	Interacción
Adoxaceae	<i>Viburnum</i>	<i>dentatum</i>	Huésped
Adoxaceae	<i>Viburnum</i>	<i>lentago</i>	Huésped
Adoxaceae	<i>Viburnum</i>	<i>nudum</i>	Huésped
Adoxaceae	<i>Viburnum</i>	-	Huésped
Caprifoliaceae	<i>Valeriana</i>	-	Huésped
Caprifoliaceae	<i>Viburnum</i>	<i>opulus</i>	Huésped
Commelinaceae	<i>Tradescantia</i>	<i>virginiana</i>	Huésped
Commelinaceae	<i>Tradescantia</i>	-	Huésped
Cornaceae	<i>Nyssa</i>	<i>sylvatica</i>	Huésped
Ericaceae	<i>Gaylussacia</i>	-	Huésped
Ericaceae	<i>Kalmia</i>	<i>angustifolia</i>	Huésped
Ericaceae	<i>Rhododendron</i>	<i>periclymenoides</i>	Huésped
Ericaceae	<i>Rhododendron</i>	<i>viscosum</i>	Huésped
Ericaceae	<i>Rhododendron</i>	-	Huésped
Ericaceae	<i>Vaccinium</i>	-	Huésped
Nyssaceae	<i>Nyssa</i>	<i>multiflora</i>	Huésped
Vitaceae	<i>Parthenocissus</i>	<i>quinquefolia</i>	Huésped

Esta especie no se ha estudiado a detalle en relación con los servicios ecosistémicos que brinda ni con su importancia económica, sin embargo, es como muchos de los esfíngidos, una importante polinizadora nocturna de plantas silvestres (Tuttle, 2007), por lo que a través de la polinización permite conservar especies silvestres y preservar la diversidad genética.

Sphinx gordius

La polilla *Sphinx gordius* posee 2 subespecies (*Sphinx gordius goedius* y *Sphinx gordius oslari*); mide de 6.8 a 10.8 cm con alas expandidas. Los individuos de *S. gordius* son muy variables y presentan diversos patrones, por lo que la determinación de los especímenes oscuros es de mucha dificultad. *S. gordius* está estrechamente relacionada con a la especie *S. poecilla*, y es poco distinguible de ésta, sin embargo, *S. gordius* tiene un patrón más contrastante que *S. poecilla*, lo que facilita su identificación en muchos casos y se refiere al área submarginal de las alas delanteras que suele ser más oscuro que en *S. poecilla* (Fig. 7, B y C). Por lo general la larva suele ser verde y presenta líneas rojizas y blancas en cada segmento. Como cualquier larva de esfíngido tiene una protuberancia en forma de cuerno en su último segmento (Fig. 7, A) y pupa en suelo blando (Riotte, 1980; Covell, 1984; Tuttle, 2007; Butterflies and Moths of North America, 2018 y Sphingidae of the United States of America, 2019).

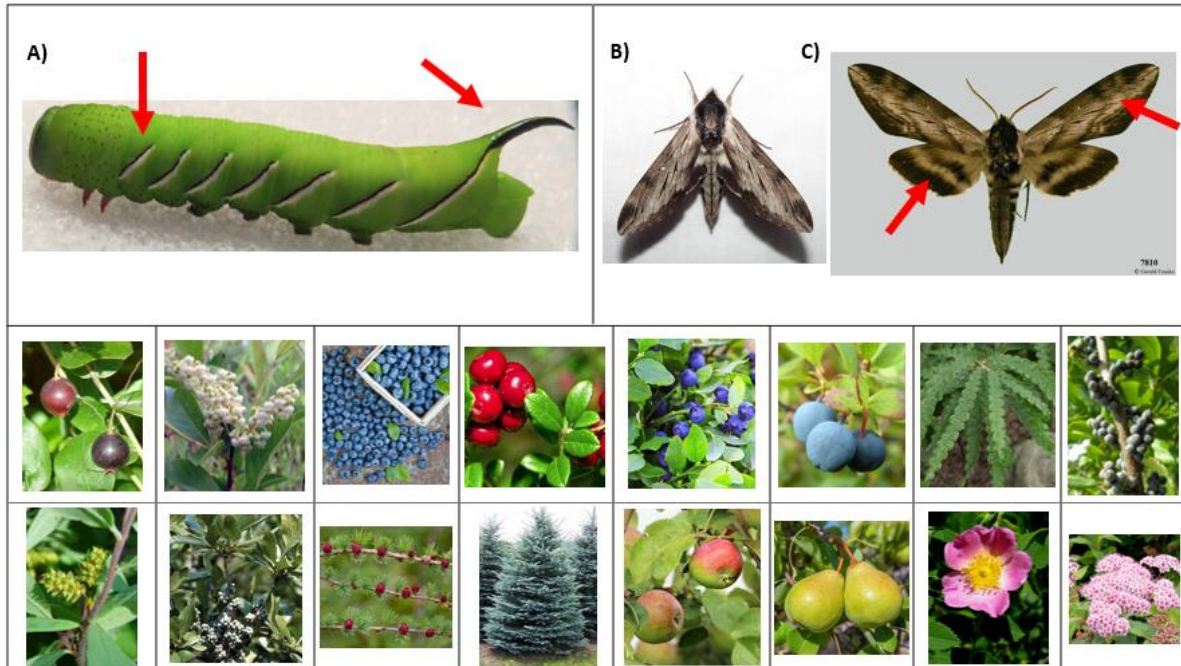


Figura 7.- Estadios de desarrollo (juvenil A) y adulto B) y C)) y plantas hospedadas por *Sphinx gordius* (de izquierda a derecha: *Gaylussaciadumosa*, *Lyona Ligustrina*, *Vaccinium corymbosum*, *V. macrocarpon*, *V. myrtillus*, *V. uliginosum*, *Comptonia peregrina*, *Myrica cerifera*, *M. gale*, *M. pensylvanica*, *Larix laricina*, *Picea glauca*, *Malus pumila*, *Pyrus communis*, *Rosa carolina*, *Spiraea alba* y *S. japonica*). Imágenes de *S. gordius* por Shinkhman y Kesting-Handl, 2018 tomado de Sphingidae of the United States of America.

Sphinx gordius es hospedera de las familias *Betulaceae*, *Ericaceae*, *Myricaceae*, *Oleaceae*, *Pinaceae* y *Rosaceae*. Entre las plantas hospederas más relevantes de *S. gordius* destacan las especies de la familia *Betulaceae*, en particular el género *Alnus* ya que son conocidas por enriquecer los suelos de los bosques debido a las altas cantidades de nitrógeno que puede fijar por la simbiosis que comparte con la bacteria *Frankia alni*, característica que también la convierte en una especie pionera de áreas perturbadas, además la madera del género *Alnus* se utiliza para ahumar alimentos, fabricar guitarras eléctricas y por los nativos americanos por sus propiedades medicinales (Arno, 1990; Tildford, 1997; Ewing, 2012; Tsuda, y Ide 2005). También son relevantes plantas hospederas de distintas especies del género *Vaccinium*, conocidas como arándanos, de las cuales *V. corymbosum* y *V. macrocarpon* son importantes especies comerciales consumidas por el hombre. A *Sphinx gordius* también se le conoce como “Apple Sphinx” o esfíngido del manzano en Norteamérica, debido a que es huésped de plantas del género *Malus* y *Pyrus* (Manzanas y peras) incluidas las especies comerciales *Malus pumila* y *Pyrus communis* que, aunque ésta última proviene de Eurasia ahora se cultiva en todo el mundo (Sauer, 1993 y Barstow, 2017). Otras especies hospederas de *S. gordius* como *Larix laricina*, *Picea glauca* y las del género *Fraxinus*, son maderables, además de que las especies del género *Fraxinus* constituyen una fuente de alimento importante para algunas ranas en estado larvario al dejar hacer sus hojas en los cuerpos de agua (Arno, 1984 y Stephens, et al., 2013).

Tabla 3.- Taxones de plantas que interactúan con *Sphinx gordius*

Familia	Género	Especie	Interacción
Betulaceae	<i>Alnus</i>	-	Huésped
Betulaceae	<i>Betula</i>	-	Huésped
Ericaceae	<i>Gaylussacia</i>	<i>dumosa</i>	Huésped
Ericaceae	<i>Lyonia</i>	<i>ligustrina</i>	Huésped
Ericaceae	<i>Vaccinium</i>	<i>corymbosum</i>	Huésped
Ericaceae	<i>Vaccinium</i>	<i>macrocarpon</i>	Huésped
Ericaceae	<i>Vaccinium</i>	<i>myrtillus</i>	Huésped
Ericaceae	<i>Vaccinium</i>	<i>uliginosum</i>	Huésped
Ericaceae	<i>Vaccinium</i>	-	Huésped
Myricaceae	<i>Comptonia</i>	<i>peregrina</i>	Huésped
Myricaceae	<i>Comptonia</i>	-	Huésped
Myricaceae	<i>Myrica</i>	<i>cerifera</i>	Huésped
Myricaceae	<i>Myrica</i>	<i>gale</i>	Huésped
Myricaceae	<i>Myrica</i>	<i>pensylvanica</i>	Huésped
Myricaceae	<i>Myrica</i>	-	Huésped
Oleaceae	<i>Fraxinus</i>	-	Huésped
Oleaceae	<i>Ligustrum</i>	-	Huésped
Pinaceae	<i>Larix</i>	<i>laricina</i>	Huésped
Pinaceae	<i>Picea</i>	<i>glauca</i>	Huésped
Rosaceae	<i>Malus</i>	<i>pumila</i>	Huésped
Rosaceae	<i>Malus</i>	-	Huésped
Rosaceae	<i>Pyrus</i>	<i>communis</i>	Huésped

Rosaceae	<i>Pyrus</i>	-	Huésped
Rosaceae	<i>Rosa</i>	<i>Carolina</i>	Huésped
Rosaceae	<i>Spiraea</i>	<i>Alba</i>	Huésped
Rosaceae	<i>Spiraea</i>	<i>Japonica</i>	Huésped
Oleaceae	<i>Saponaria</i>	<i>officialis</i>	Polinización
Caryophyllaceae	<i>Syringa</i>	<i>vulgaris</i>	Polinización

De acuerdo con la literatura, *S. gordius* se caracteriza por habitar bosques deciduos, pastizales costeros y pantanos, está más extendida hacia el sur de América del Norte, siendo más común desde el sur de Nueva Inglaterra hacia el oeste hasta el sur de Wisconsin. También hay numerosas observaciones en los Apalaches, hasta el sur de Tennessee, Illinois y partes de Missouri, y hay varias incidencias aisladas en Florida. En el oeste, la distribución se extiende hacia el norte de Wisconsin, Minnesota y el sur de las provincias canadienses. También hay un depósito aislado en Colorado y Utah (Covell, 1984; Tuttle, 2007; Butterflies and Moths of North America, 2018 y Sphingidae of the United States of America, 2019).

La especie *Sphinx gordius* es conocida por ser polinizadora nocturna cuya importancia está ligada a la preservación de plantas silvestres y su diversidad genética a través de la misma manera que *D. choerilus* y *H. Thysbe*. No existen registros de esta como plaga. También se reporta que esta especie poliniza a las plantas extranjeras adaptadas a Norteamérica *Saponaria officinalis* (perteneciente a Europa central y meridional) y *Syringa vulgaris* (nativa de la península balcánica), cultivadas con usos medicinales y ornamentales respectivamente (Tuttle, 2007 y Fleming, 2017).

El concepto de Nicho Ecológico

La palabra Nicho del Latín *nidus* (“nido”); fue utilizada por primera vez por Johnson en 1910 como un término ecológico, sin embargo, fue hasta 1917 utilizado en ecología por Grinnell, para referirse a la combinación de factores ambientales presentes en un rango de especies, es decir, el conjunto de factores que pueden restringir la distribución de las especies (Kearny, *et al.*, 2010 y Escobar y Craft, 2016). Sin embargo, el concepto de nicho era ambiguo, usó el término nicho para referirse a los factores ambientales requeridos por una especie para su distribución (Figura 9). Luego, hasta 1927, Charles Elton definió el nicho ecológico como el papel de una especie en un ecosistema y sus interacciones con otras especies (Figura 9). Esta definición acuñada por Elton se entendía más con respecto al papel funcional de las especies en las redes tróficas, las condiciones abióticas no eran consideradas en esta definición de nicho (Kearny, *et al.*, 2010 y Escobar y Craft, 2016).

Hutchinson más tarde en 1957, intentó reducir la ambigüedad del concepto de nicho, diferenciándolo como el nicho fundamental y el nicho realizado, asimismo propuso un concepto más formal y cuantitativo basado en la teoría de conjuntos. Hutchinson concibió el nicho como un hipervolumen en un espacio ambiental multidimensional delimitando, donde se pueden mantener poblaciones estables. Cuando las interacciones bióticas se consideran en el cálculo del espacio nicho, se obtiene el nicho realizado. El nicho

fundamental ignora las interacciones bióticas y se propuso como un hipervolumen de variables ambientales que permiten que la especie exista (Fig. 8, a). El nicho el realizado también se entiende como la porción del nicho fundamental que realmente utiliza una especie limitada por interacciones bióticas positivas o negativas con otros organismos (Fig. 8, b). El concepto de nicho de Hutchinson difiere marcadamente del de Grinnell y Elton en ser definido como una propiedad de la especie que como un espacio en una comunidad. El nicho hiperespacial de Hutchinson se encuentra en dimensiones o ejes ambientales, que generalmente incluyen condiciones físicas (temperatura del hábitat, humedad, pH, etc.) y recursos (por ejemplo, tamaño de partículas de alimentos). El nicho en el espacio ambiental se puede transponer al espacio-tiempo físico, a distintos gradientes ambientales y otras características del hábitat, para predecir la supervivencia, el desarrollo, el crecimiento, la reproducción y, en última instancia, la dinámica de la población, la abundancia, la distribución y las interacciones de las especies (Kearny, *et al.*, 2010 y Escobar y Craft, 2016).

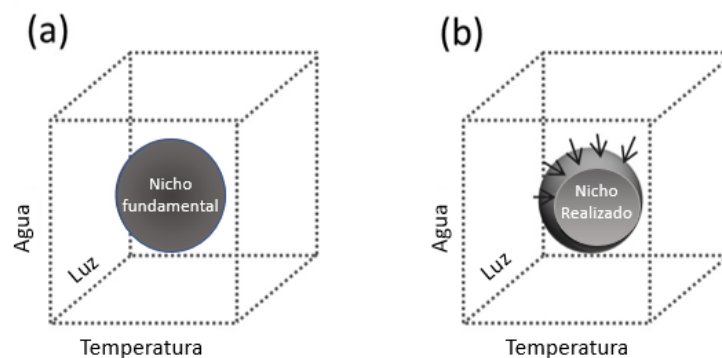


Figura 8.- Representación gráfica de del nicho fundamental (a) y el nicho realizado (b) tomado y modificado de Guisan, *et al.*, 2017.

Existen 2 tipos de variables: (1) las variables escenopoéticas o no interactuantes, que se refiere a variables independientes de la especie como los factores físicos del ambiente (Clima) y (2) las variables bionómicas, interactuantes o ligadas dinámicamente que son aquellas que se ven modificadas por la especie. A pesar de ello existe cierta relatividad en los conceptos debido a que de alguna manera todas las variables son interactuantes con la especie, sin embargo debido a la mayor estabilidad de las variables escenopoéticas frente a las bionómicas, son éstas las que se utilizan en el modelado de nicho ecológico (Martínez-Meyer, 2014)

El concepto de nicho ecológico en la actualidad.

Finalmente, Soberón y Peterson (2005) definieron el concepto de nicho utilizando el marco BAM (Fig. 13) que se refiere a las condiciones ambientales en las que una especie puede mantener poblaciones a largo plazo sin necesidad de inmigración. Sin embargo, la especie no puede usar todo su nicho debido a limitaciones biológicas o de dispersión. De acuerdo con Soberón y Peterson, un componente ausente en

las definiciones anteriores era la capacidad de dispersión y el potencial de movimiento de las especies para alcanzar áreas adecuadas (Figura 9 y 10). Este nuevo concepto sugiere que una especie puede tener un nicho fundamental amplio, pero es incapaz de usarlo por completo debido a limitaciones o barreras biogeográficas. Bajo esta definición delimitada de nicho se emplea el modelado de nicho ecológico o de distribución potencial (Escobar y Craft, 2016).

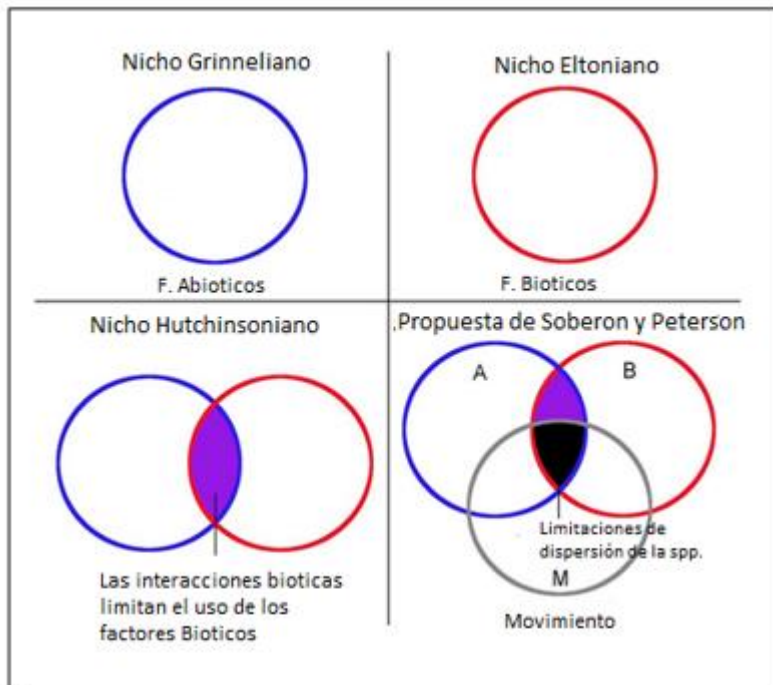


Figura 9.- Marco histórico del concepto de nicho ecológico, tomado de Escobar y Craft, (2016)

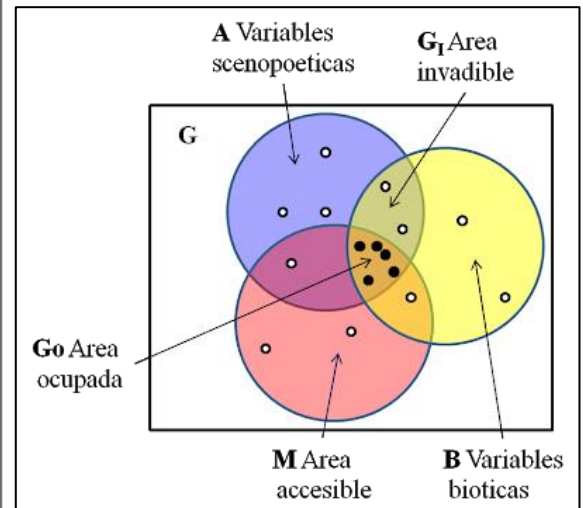


Figura 10.- Diagrama BAM, tomado de CONABIO, 2019. La distribución potencial de la especie (G_p): es la suma de G_0+G_1

Los Modelos de Nicho Ecológico

Los datos disponibles de las asociaciones y respuestas de las especies con su entorno permitieron el desarrollo de los modelos de distribución de especies (SDM por sus siglas en inglés), también conocidos como modelos bioclimáticos, o modelos de nichos ecológicos (ENM por sus siglas en inglés) para predecir la distribución y comportamiento espacial de las poblaciones a los cambios en el tiempo (Elith, y Leathwick, 2009; Kearny y Porter, 2009). Generalmente factores abióticos como las propiedades físico químicas de suelo y del agua, así como el clima son los principales insumos para generar dichos modelos; relacionado principalmente a las presencias o ausencias de una especie de acuerdo con su rango de tolerancia a estos factores, ya que en el contexto de los SDM, el nicho ecológico es concebido de manera Hutchinsoniana, es decir como un espacio ambiental de hipervolumen que representa la limitaciones de una especie a múltiples variables (Kearny y Porter, 2009).

Los ENM y SDM son modelos usados para integrar los valores ambientales y los datos de presencia, presencia-ausencia conocidos de las especies. Es decir, son modelos que relacionan las observaciones de campo de las especies con variables ambientales predictivas, basadas en una respuesta estadística o teórica. Existen diferentes algoritmos de modelado entre los que destacan BIOCLIM, GARP y Maxent. Cada uno con un acercamiento diferente a partir del uso de algoritmos de envolturas climáticas (BIOCLIM), de algoritmos genéticos (GARP) o de algoritmos de máxima entropía (Maxent) (Illoldi-Rangel y Escalante, 2008).

El clima es el principal factor considerado para realizar los modelos de distribución de especies argumentando la intrínseca relación de los organismos con las condiciones climáticas a través de los intercambios de energía y masa (Kearny y Porter, 2009). Por tal razón las 19 capas bioclimáticas de *Worldclim* son utilizadas a menudo para modelar los nichos ecológicos de las especies (tabla 4).

Tabla 4.- Descripción de las 19 variables bioclimáticas de Worldclim generalmente utilizadas como variables escenopoéticas en el modelado de nicho ecológico. Fuente: www.worldclim.org

Variable	Descripción
Bio 1	Promedio anual de la temperatura
Bio 2	Rango de temperaturas diurnas (promedio mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))
Bio 3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (* 100)
Bio 4	Estacionalidad en la temperatura (desviación estándar * 100)
Bio 5	Temperatura máxima del mes más cálido
Bio 6	Temperatura mínima del mes más frío
Bio 7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
Bio 8	Temperatura media del trimestre más lluvioso
Bio 9	Temperatura media del trimestre más seco
Bio 10	Temperatura media del trimestre más cálido
Bio 11	Temperatura media del trimestre más frío
Bio 12	Precipitación anual
Bio 13	Precipitación del mes más lluvioso
Bio 14	Precipitación del mes más seco
Bio 15	Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)
Bio 16	Precipitación del trimestre más lluvioso

Bio17	Precipitación del trimestre más seco
Bio18	Precipitación del trimestre más cálido
Bio 19	Precipitación del trimestre más frío

Por otra parte, la aplicación del modelado de nicho ecológico se considera una herramienta en las estrategias de conservación ya que permite anticipar la distribución de las especies ante los cambios inducidos por el hombre (Elith, y Leathwick, 2009; Kearny y Porter 2009).

Maxent

Maxent está fundamentado en el concepto de máxima entropía, este software estima la distribución a lo largo del área de estudio (M) delimitando al valor esperado para cada variable ambiental en una distribución concuerda con el promedio empírico. Maxent multiplica cada variable ambiental por una constante y posteriormente la divide para asegurar valores de probabilidad entre 0 y 1. (Illoldi-Rangel y Escalante, 2008).

Maxent solo utiliza datos de presencia y compara las ubicaciones de donde se ha encontrado una especie con todos los entornos disponibles con el mismo rango de características en la región de estudio. Define estos entornos disponibles mediante el muestreo aleatorio de una gran cantidad de puntos en toda el área, que se denominan puntos de fondo (background points) que definen el entorno disponible. Las restricciones en el programa son las reglas que limitan la distribución de la especie y se basan en los valores de las variables ambientales (dichos valores son llamados características/features) de los lugares donde se ha observado la especie. Existen en el software seis tipos de características / features (automáticas, lineales, cuadráticas, de producto, de límite de bisagra y categóricas), y cada uno de estos tipos tiene diferentes implicaciones que permiten interpretar de forma diferente las curvas de respuesta (Biodiversity and Climate Change Virtual Laboratory, 2019).

Para calcular la distribución potencial de una especie, Maxent calcula primero dos densidades de probabilidad, luego calcula la relación entre estas dos densidades y esto da como resultado la idoneidad ambiental relativa para la presencia de una especie en el área de estudio. Para interpretar de manera más fácil los resultados y proporcionar una estimación de la probabilidad de la especie esté presente en una ubicación determinada, Maxent tiene en cuenta que la prevalencia de una especie, que se refiere a la proporción de ubicaciones ocupadas, tiene un valor de prevalencia predeterminado (prevalencia por default), de 0.5, lo que implica que la especie está presente en la mitad de todas las ubicaciones posibles. Sin embargo, este valor no puede derivarse por completo los datos de presencia solamente, y el valor de 0.5 no es apropiado, para especies raras o poco abundantes (Biodiversity and Climate Change Virtual Laboratory, 2019).

Otro aspecto importante en Maxent es la regularización, que reduce el sobreajuste del modelo relajando las restricciones tomando en cuenta los intervalos de confianza en torno a las restricciones y así evitar que

el modelo se ajuste a los datos de entrada o a través de la complejidad penalizadora que excluye del modelo las características que no agregan una mejora significativa (Biodiversity and Climate Change Virtual Laboratory, 2019).

Una de las principales herramientas utilizadas para validar los ENM/SDM es la llamada *Area under the Receiver Operating Characteristic Curve* (Área bajo la curva ROC, por sus siglas en inglés), una curva que describe la tasa de identificación correcta de presencias (*sensitivity*, en las *y*) contra la tasa de falsas alarmas (*1-specificity*, en las *x*). Si las predicciones para todos los sitios de presencia conocida son más altas que las predicciones para todos los sitios de ausencia conocida, AUC tiene un valor de 1 y un valor de AUC de 0.5 se considera equivalente a un sorteo aleatorio; un buen modelo presenta una AUC igual a 1 (Marmion, *et al.*, 2009 y CONABIO, 2014).

Modelos de nicho ecológico en Lepidópteros

Aunque los estudios de conservación en insectos son por lo general poco comunes a pesar de la sobresaliente diversidad que los caracteriza, los modelos de nichos ecológicos realizados en insectos han probado predecir la dinámica de algunas poblaciones ante problemas de interés antrópico tal como el riesgo o vulnerabilidad a especies invasoras, plagas o vectores de enfermedades proyectando la distribución actual y potencial ante los futuros cambios; algunas investigaciones hacen mayor énfasis en problemáticas como el cambio climático (Costa, *et al.*, 2010; Barredo *et al.*, 2015; Kumar *et al.*, 2014; Ning *et al.*, 2017).

A pesar de la diversidad e importancia ecológica de los lepidópteros, hay pocos estudios que documenten su distribución, utilizando modelos de distribución predictiva (Hernández-Baz, *et al.*, 2016); se han realizado por ejemplo, algunos estudios en Norteamérica que han utilizado este tipo de análisis de modelado, entre los que destacan los análisis para la especie de la mariposa monarca (*Danaus plexippus*) (*Lepidoptera: Nymphalidae*) como el de Oberhauser y Peterson (2003) que modela las distribuciones potenciales actuales y futuras de esta mariposa en Norteamérica, el estudio de Barve *et al.*, 2012 que evalúa la mortalidad de esta misma especie frente al cambio climático y la investigación de Batelden. *et al.*, (2007), que modela nichos en generaciones secuenciales de esta especie, también frente al cambio climático en donde se obtuvo un cambio en la distribución hacia el norte durante los próximos 50 años; otras investigaciones relevantes como la de Peterson *et al.*, 1999 y 2002, involucran el modelo de nichos de lepidópteros, mamíferos y aves en la conservación ante el cambio climático y otros fenómenos que provocan la pérdida de biodiversidad en México, a una escala temporal y espacial; el estudio de Peterson, *et al* (2004) que utiliza los algoritmos Maxent y Garp para modelar los efectos del cambio climático en la distribución de 111 especies de mariposas canadienses, los cuales muestran una pérdida de hábitat de distribución sutil.

También existen investigaciones más específicas, en las que se trabaja con un taxón particular como el de Henández-Baz *et al.*, 2016 que predice la distribución potencial de *Coreura albicosta* (*Lepidoptera: Erebidae: Ctenuchina*) en México donde se obtuvo que variables ambientales con una gran contribución al modelo fueron el tipo de vegetación y la precipitación media anual; y la investigación de Soberón, *et al.*, 2000 que trabajó con las familias *Papilionidae* y *Pieridae*, generando una base de datos a partir de una colección con fines de conservación. Estudios como el de Fisher *et al.*, (2018) que utilizaron el algoritmo Maxent para modelar la distribución potencial de la mariposa Monarca que hiberna en el condado de Santa Barbara, California, en el cual que la distribución se verá afectada a futuro por el cambio climático. Por último, estudios donde explican la interpretación de modelos de áreas de distribución usando como herramienta modelos de nicho ecológicos generados a través de algunas familias de lepidópteros (Soberón y Peterson, 2005; Soberón, 2010) (tabla 5).

Tabla 5.- Investigaciones que utilizan los modelos de nicho o de distribución potencial en Lepidópteros para a región de Norteamérica.

Estudio	Autores
Conservatism of ecological niches in evolutionary time.	Peterson <i>et al.</i> , (1999)
The use of specimen-label databases for conservation purposes: an example using Mexican <i>Papilionid</i> and <i>Pierid</i> butterflies.	Soberón, <i>et al.</i> , (2000)
Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios.	Peterson <i>et al.</i> , (2002)
Modeling current and future potential wintering distributions of eastern North American monarch butterflies	Oberhauser y Peterson (2003)
Modeled climate change effects on distributions of Canadian butterfly species.	Peterson, <i>et al.</i> , (2004)
Interpretation of Models of Fundamental Ecological Niches and Species	Soberón y Peterson, 2005
Ecological niches in sequential generations of eastern North American monarch butterflies (<i>Lepidoptera: Danaidae</i>): the ecology of migration and likely climate change implications.	Batelden. <i>et al.</i> , (2007)
Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective.	Soberón, 2010
Eventos de mortandad masiva y cambio climático en poblaciones invernales de la mariposa Monarca.	Barve <i>et al.</i> , 2012
Maximum entropy niche-based modeling (Maxent) of potential geographical distribution of <i>Coreura albicosta</i> (<i>Lepidoptera: Erebidae: Ctenuchina</i>) in Mexico.	Hernández-Baz, <i>et al.</i> , 2016
Climatic niche model for overwintering monarch butterflies in a topographically Complex region of California	Fisher <i>et al.</i> , (2018)

La mayoría de los estudios que se muestran en la tabla 5 manifiestan y proyectan el comportamiento de distintos lepidópteros ante la pérdida de hábitat y el cambio climático, exponiendo una disminución sutil o drástica en la distribución de las especies o taxa de cada estudio a través del tiempo; por otro lado, estos estudios también aluden en la importancia de generar modelos que puedan promover la conservación de los taxa a los que se hace referencia. Es interesante notar que ninguna investigación se ha realizado para especies de la familia *Sphingidae* en Norteamérica o de manera particular para polillas diurnas o nocturnas en esta región.

El contexto actual del Orden Lepidoptera y la familia *Sphingidae* ante la degradación ambiental.

Cerca de la mitad de las especies del orden Lepidoptera, tanto mariposas como polillas, están disminuyendo a un ritmo más acelerado que el promedio anual del 1.8%, presentando una tasa de extinción del 11% (Sánchez-Bayo y Wyckhuys, 2019). Incluso, existe una creciente evidencia de que muchas especies de polillas halcón (*Sphingidae*) y otras especies de macro lepidópteros de la familia Saturniidae han sufrido disminuciones a largo plazo en el noreste de los Estados Unidos y Canadá (Hessel, 1976). Entre las posibles causas podemos incluir el cambio climático, que podría causar un desajuste entre la aparición de larvas, y la hoja de la planta huésped; pérdida de hábitat, incluidas las plantas hospederas; sucesión forestal, que ha llevado a cambios en la composición de los bosques del noreste de Estados Unidos de Norteamérica, la tala del siglo XIX para la agricultura, niveles crecientes de luces artificiales en la noche, una mosca parasitoide introducida (*Compsilura concinnata*; *Tachinidae*); el cambio de las prácticas agrícolas y el uso de la tierra que han provocado la disminución de los huéspedes disponibles para las polillas (Young *et al.*, 2017)

Relevancia económica.

La falta de información que existe sobre las implicaciones que tienen los insectos, en especial los lepidópteros, en el ecosistema hace más difícil predecir las consecuencias de su extinción. Y aunque para la producción agrícola, el hombre depende en un 75% para la polinización, la cual se estimó en 153 billones de euros a nivel global durante el 2005 (Potts, *et al.*, 2010) ésta se vincula principalmente a las abejas (*Apis mellífera*) y abejorros silvestres, a pesar de que polillas como los esfíngidos son importantes y especializados polinizadores (Young *et al.*, 2017) lo que manifiesta nuevamente la ausencia de investigaciones relacionadas a este importante servicio brindado por los lepidópteros. En el contexto norteamericano el gobierno de Estados Unidos en 2014, estimó que los polinizadores contribuyen con más de 24 billones de dólares a la economía de este país, donde 15 billones se calcularon para la polinización por abejas (White house, 2014), sin reportar ningún valor para la polinización de los lepidópteros que además son huéspedes de distintas especies de plantas y por lo tanto interactúan a profundidad y son parte fundamental de la dinámica poblacional de estas; lo anterior vuelve a proyectar el profundo vacío de información, ahora en el entorno norteamericano, sobre el impacto que generan las mariposas y polillas en el ecosistema y por tanto en la economía.

OBJETIVOS

Objetivo general

Construir modelos de distribución potencial de tres especies de lepidópteros de la familia *Sphinxidae*: *Sphinx gordius*, *Darapsa Choerilus* y *Hemaris thysbe* de Norteamérica, usando el modelo de nicho ecológico.

Objetivos particulares

1. Diseñar una base de datos con los registros de ocurrencias de tres especies de lepidópteros: *Sphinx gordius*, *Darapsa Choerilus* y *Hemaris thysbe* de la familia *Sphinxidae* en Norteamérica.
2. Modelar el nicho ecológico de las tres especies de lepidópteros: *Sphinx gordius*, *Darapsa Choerilus* y *Hemaris thysbe*, de la familia *Sphinxidae* en Norteamérica, para conocer su área de distribución potencial.

METODOLOGÍA

Selección de Especies

Mediante una búsqueda en línea en la base de datos *Web of Science* (1900 – 2019), donde se recopilaron artículos de todos los años disponibles de la literatura global *revisada por pares* (peer-reviewed), usando las palabras clave [ecosystem service*] y [lepidopter*] se construyó una base de datos en relación con los servicios ecosistémicos de los lepidópteros. Se seleccionaron solo aquellos estudios que nombraran algún servicio ecosistémico del orden *Lepidoptera*. La base que se construyó contiene la información taxonómica, distribución geográfica, servicio ecosistémico y la referencia de las especies de lepidópteros detectados en la búsqueda. Posteriormente, para la construcción del modelo de nicho ecológico, se seleccionó a aquellas especies de la misma familia que tuvieran mayor cantidad de incidencias en referencia a algún servicio ecosistémico, una cantidad suficiente de datos en registros de presencia, y la misma amplitud en su distribución geográfica, seleccionándose: *Sphinx gordius*, *Darapsa choerilus* y *Hemaris thysbe*.

Construcción de los modelos de nicho ecológico

Con información recopilada sobre los registros de presencias de las especies *Sphinx gordius*, *Darapsa choerilus* y *Hemaris thysbe*, en colecciones nacionales e internacionales, como la colección del Instituto de Biología de la UNAM, bases de datos como Gbif, SCAN, Butterflies and Moths of North America , MPG, Naturalist, PNW y CONABIO, así como en artículos, tesis y solicitando a expertos la información

se construyó una base de datos; dicha base se depuró cerciorándose de que la información geográfica y taxonómica fuera precisa.

Antes de ejecutar los modelos, se definió el área a modelar (M) restringiendo la amplitud geográfica a las coordenadas de distribución de la especie y apegándose a las ecorregiones del mundo. Posteriormente se definieron las variables escenopoéticas con ayuda de las capas climáticas de *Worldclim*, considerando y jerarquizando las más relevantes de acuerdo al contexto o características de las especies, así como haciendo uso del análisis estadístico de Jackknife, la correlación de Pearson (se consideró a 0.7 como una *r* alta) y el porcentaje de contribución (salida de MaxEnt, considerando valores >10) (Rocchini *et al.*, 2011). Las capas climáticas de las variables ambientales seleccionadas para realizar los modelos de cada especie, se editaron en función del área de distribución de cada especie (M).

Para generar el modelo del nicho y la distribución para cada especie se utilizó el software *MAXENT* (versión 3.4.1.). Se siguieron las mejores prácticas para la modelación de los nichos y distribuciones de las especies (Rocchini *et al.*, 2011), que incluyen: (1) La depuración de los registros de las especies para evitar problemas de georreferenciación espacial; (2) La selección de las variables ambientales más adecuadas para cada especie, se hizo uso de las variables bioclimáticas de *Worldclim* con resolución espacial de 0.0416 grados decimales, aproximadamente de 1 km; (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011; Reiss *et al.*, 2011; Broennimann *et al.*, 2012).

El 30% de los datos de presencias para cada especie se utilizaron como datos de prueba y el 70% se emplearon para construir el modelo. El umbral de convergencia fue siempre de 1.0×10^{-5} y las iteraciones máximas = 500. Se ejecutaron 7 modelos de nicho diferentes para cada especie en los que se probaron valores de la prevalencia por defecto con 0.5 y 1 a una regularización de 1 habilitando solo características lineales o cuadráticas; el resto de los modelos se ajustó con regularizaciones de 0.5, 2 y 3, habilitando las auto características y con una prevalencia por defecto de 0.5. Para la validación de los modelos se tomó en cuenta valores de AUC.

RESULTADOS

Se obtuvo un total de siete modelos de distribución potencial por especie, de los cuales los que presentaron un AUC cercano a 1 y fueron los que se hicieron a una regularización de 0.5, 2 y 3 para *Sphinx gordius*, *Darapsa choerilus* y *Hemaris thysbe*, respectivamente. Todos los modelos mostraron una idoneidad de hábitat con tendencia hacia la zona noreste, donde se encuentran los bosques deciduos, mixtos y praderas. La especie *S. gordius* y *H. thysbe* presentaron ciertos parches de idoneidad en la zona oeste de Norteamérica en dirección a los bosques de coníferas y desiertos, respectivamente. *D. choerilus* se vio solo restringida hacia los bosques deciduos, mixtos y praderas.

Registros de ocurrencia y variables bioclimáticas

Para la especie *Sphinx gordius* se encontró un total de 420 registros de ocurrencia únicos, que se usaron para modelar la distribución potencial, mientras que para *Darapsa choerilus* y *Hemaris thysbe* se encontraron 1519 y 4375 registros respectivamente. Para realizar el modelo de distribución potencial de *S. gordius* se utilizaron 6 variables bioclimáticas, 9 variables para *D. choerilus* y 7 variables para *H. thysbe* (tabla 6).

Tabla 6.- Variables bioclimáticas empleadas en los modelos de distribución potencial de cada especie

Espece	Variabes
<i>Sphinx gordius</i>	Bio 1
	Bio 2
	Bio 4
	Bio 8
	Bio 12
	Bio 15
<i>Darapsa choerilus</i>	Bio 2
	Bio 4
	Bio 8
	Bio 9
	Bio 10
	Bio 15
	Bio 16
	Bio 17
	Bio 18
<i>Hemaris thysbe</i>	Bio 2
	Bio 4
	Bio 8
	Bio 9
	Bio 10
	Bio 17
	Bio 18

S. gordius presentó 5 variables bioclimáticas con mayor porcentaje de contribución [$>10\%$], entre las que destacan la Bio 1 (promedio anual de temperatura) con el 37.7 % y Bio 12 (precipitación anual) con el 19.8 % (tabla 7); para *D. choerilus*, hubo 2 variables con mayor porcentaje de contribución, la Bio 17 (precipitación del trimestre más seco) y Bio 10 (promedio de temperatura del trimestre más caliente) con el 56.8 y 26.1 % (tabla 7). *H. thysbe* mostró 3 variables con un alto porcentaje de contribución, en las que resalta la Bio 10 (promedio de temperatura del trimestre más caliente) y la Bio 17 (precipitación del trimestre más seco) que contribuyeron con el 41 y 22 % respectivamente, a la distribución de la especie (tabla 7).

Tabla 7.- Porcentaje de contribución de las variables bioclimáticas en los modelos de cada especie.

Especie	Variable	Porcentaje de contribución
<i>Sphinx gordius</i>	Bio 1	37.7
	Bio 12	19.8
	Bio 2	13.8
	Bio 4	13.5
	Bio 15	13
	Bio 8	7.2
<i>Darapsa choerilus</i>	Bio 17	56.8
	Bio 10	26.1
	Bio 15	5.7
	Bio 4	4.3
	Bio 16	3.2
	Bio 18	1.8
	Bio 2	1
	Bio 8	0.8
Bio 9	0.5	
<i>Hemaris thysbe</i>	Bio 10	41
	Bio 17	22.6
	Bio 18	14.1
	Bio 2	9.8
	Bio 4	6.1
	Bio 19	2.9
	Bio 9	2
Bio 8	1.5	

Configuración de los modelos

Un total de siete modelos se obtuvieron por especie. Los que presentaron mejor rendimiento por su valor de AUC, fueron: para *S. gordius* el modelo configurado con una regularización de 0.5 (tabla 8, figuras 11 y 14), para *D. chorelius* el de una regularización de 2 (tabla 8, figuras 12 y 15), y para *H. thysbe* el que se configuró a una regularización de 3 (tabla 8, figuras 13 y 16).

Tabla 8.- Valor de AUC (Área bajo la curva) y configuración de los modelos con mejor rendimiento para cada especie.

Especie	Configuración del modelo	AUC
<i>Sphinx gordius</i>	Regularización 0.5, DP 0.5, Autofeatures	0.927
<i>Darapsa choerilus</i>	Regularización 2, DP 0.5, Autofeatures	0.916
<i>Hemaris thysbe</i>	Regularización 3, DP 0.5, Autofeatures	0.930

DP = default prevalece / prevalencia por default

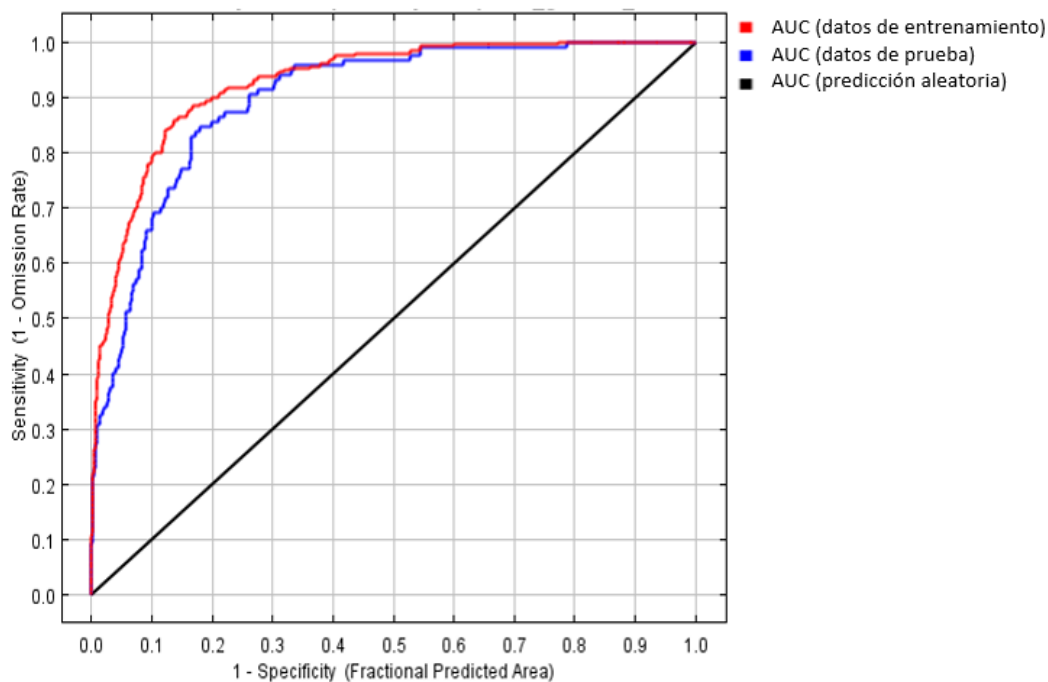


Figura 11.- Curva ROC del modelo con mejor rendimiento de la especie *Sphinx gordius*.

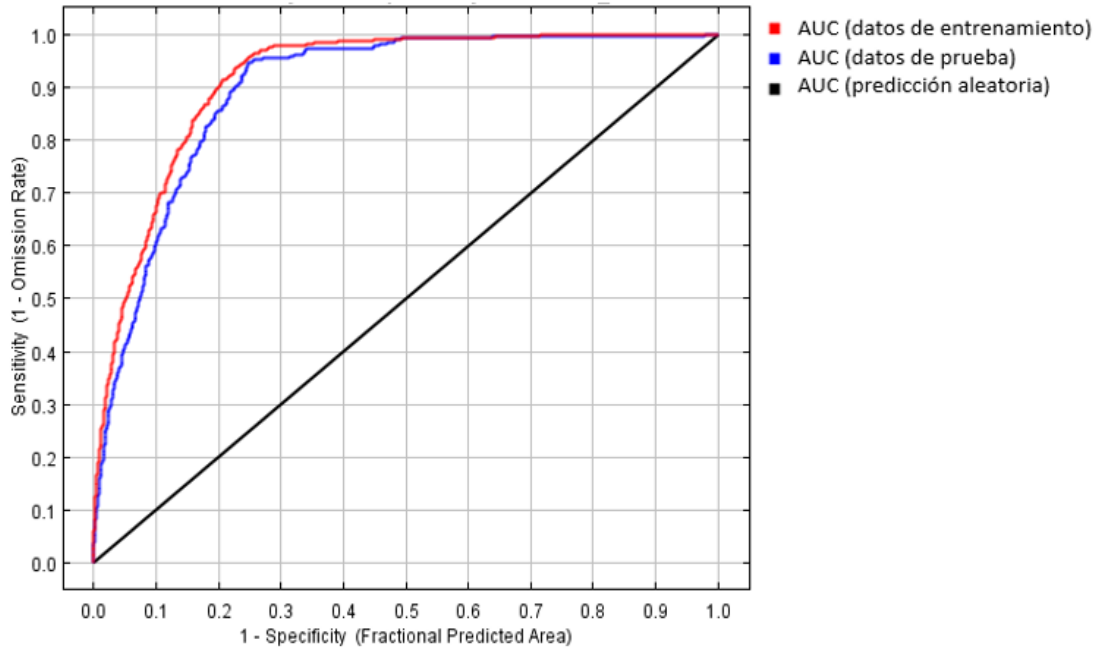


Figura 12.- Curva ROC, para el modelo con mejor rendimiento de la especie *Darapsa choerilus*.

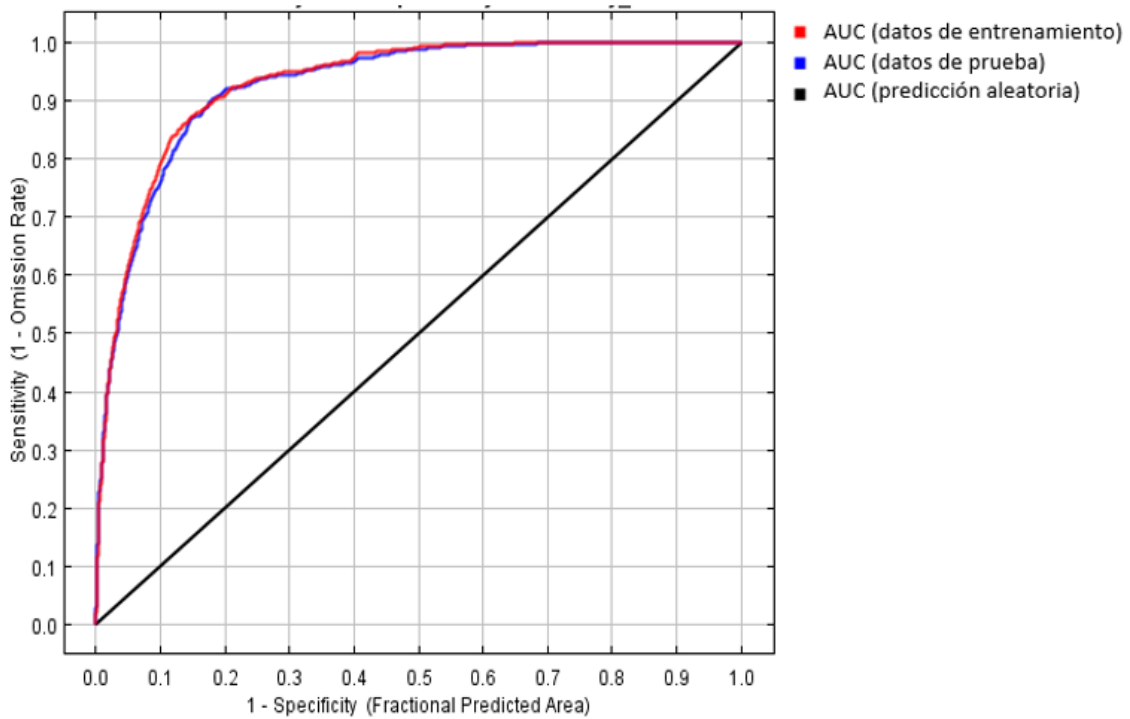


Figura 13.- Curva ROC del modelo con mejor rendimiento de la especie *Hemaris thysbe*.

Distribución potencial

Los modelos de nicho ecológico seleccionados para las tres especies mostraron una distribución potencial hacia los bosques templados y mixtos del este de Norteamérica (Figuras 14, 15, 16, 17, 18 y 19). *Hemaris thysbe* presenta la distribución más amplia abarcando 5,487,036 km² en su área de distribución potencial; esta se extiende hasta el bosque templado, mixto y un poco de las praderas del noreste (Fig. 16 y 19) *Darapsa choerilus* presentó un área de distribución potencial de 4,543,608 km² restringiéndose, exclusivamente a la zona costera noreste de los bosques deciduos y mixtos de Norteamérica, así como hacia las planicies del centro y sudeste; presenta también cierta idoneidad de hábitat en las planicies del centro y sudeste (Fig. 15 y 18). *Sphinx gordius* se encuentra más restringida hacia la zona norte y abarcó una área total de 3,438,821 km² en el modelo de distribución el cual muestra que existen tres principales zonas de distribución para esta especie: (1) en el noreste, en los bosques deciduos y mixtos la cual resulta más amplia, (2) en la zona oeste del continente en los pastizales y matorrales, aunque de una manera más reducida y (3) en la zona sur de la península de florida (Fig. 14 y 17).

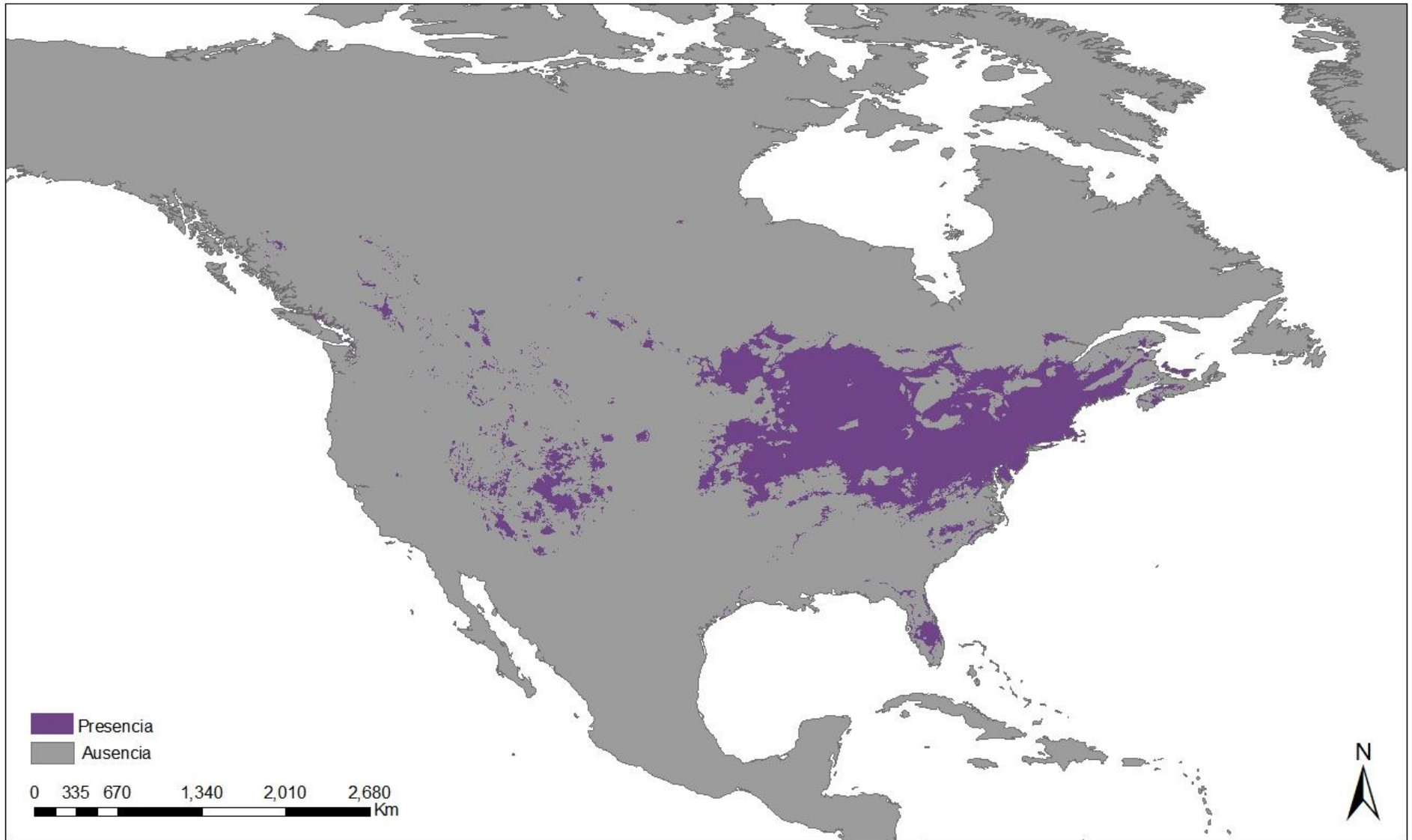


Figura 14.-Mapa de distribución potencial de la especie *Sphinx gordius*, proyectada por el modelo de nicho ecológico construido en MAXENT, en morado se muestra el área donde el hábitat es idóneo para la especie.

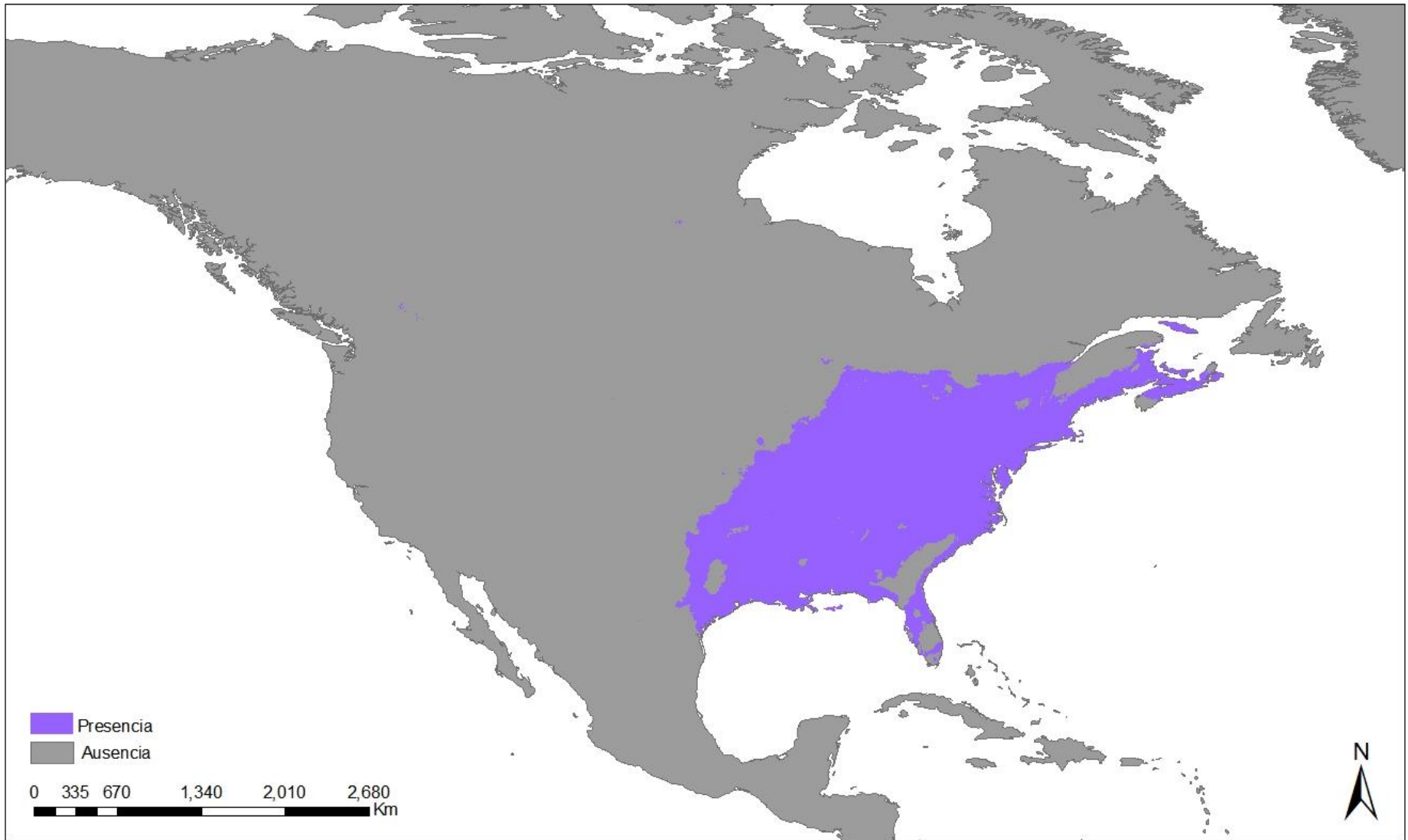


Figura 15.- Mapa de distribución potencial de la especie *Darapsa choerilus*, proyectada por el modelo de nicho ecológico construido en MAXENT, en morado se muestra el área donde el hábitat es idóneo para la especie.

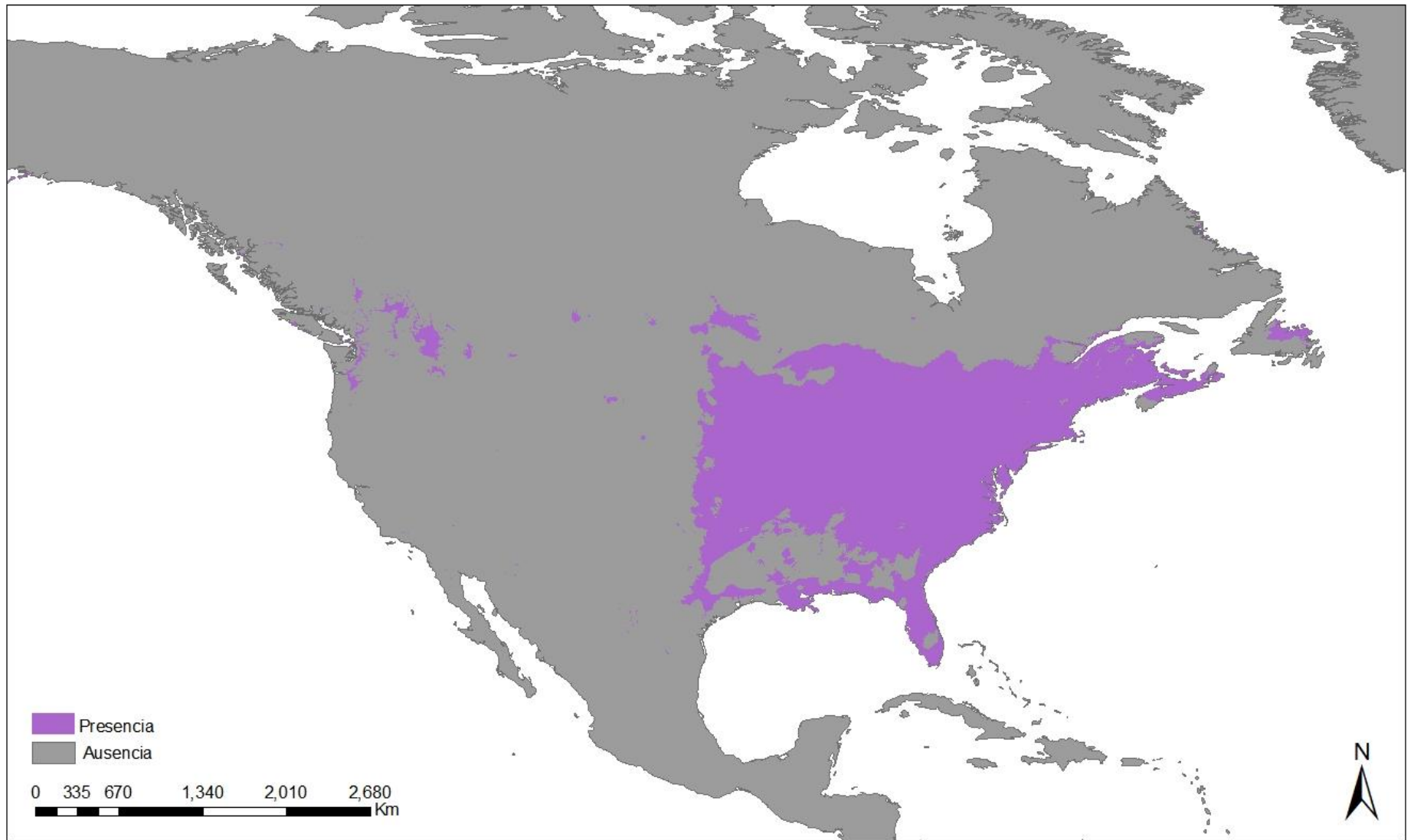


Figura 16.- Mapa de distribución potencial de la especie *Hemaris thysbe*, proyectada por el modelo de nicho ecológico construido en MAXENT, en morado se muestra el área donde el hábitat es idóneo para la especie.

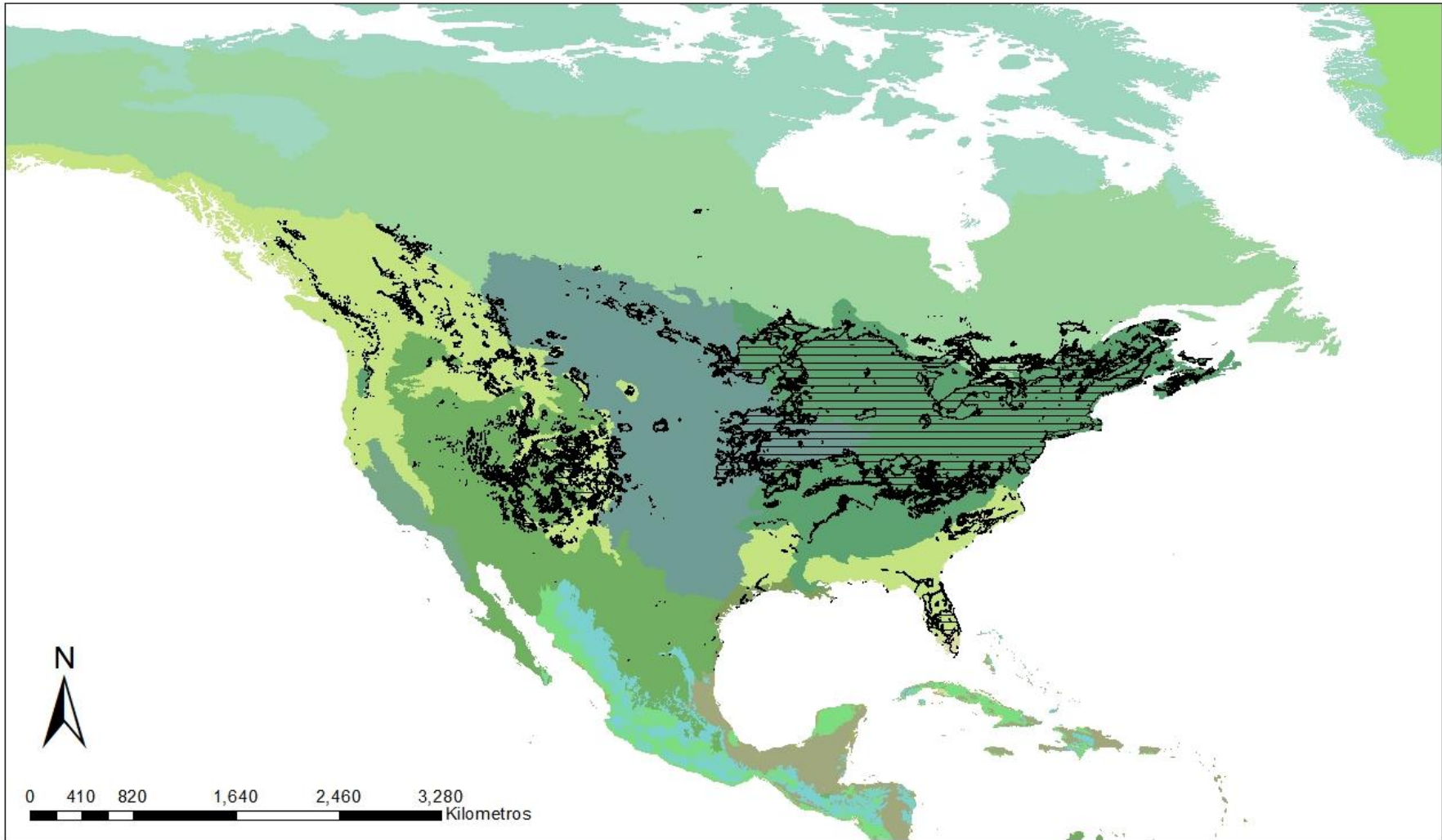
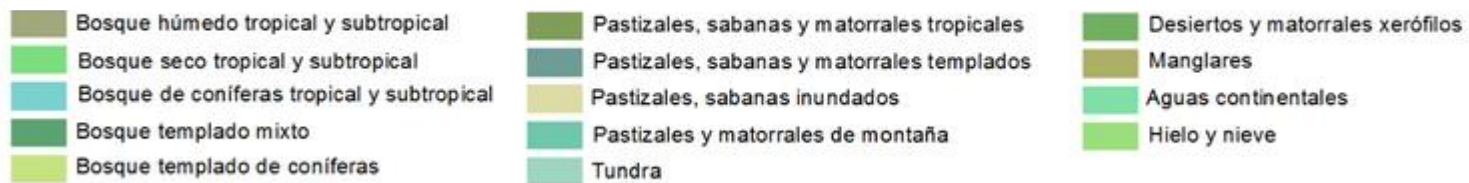


Figura 17.- Ecorregiones presentes en el área de distribución potencial de la especie *Sphinx gordius*.



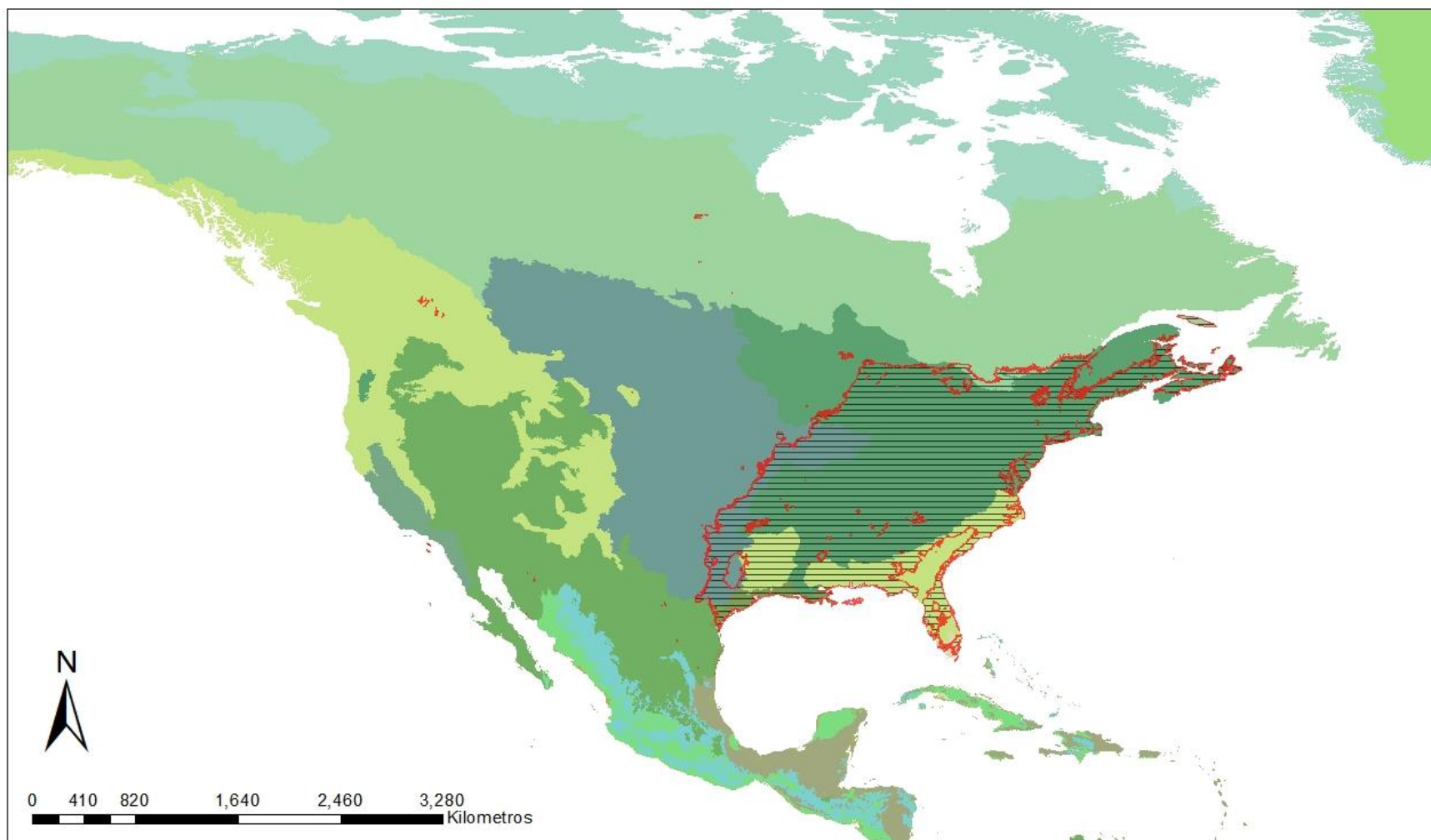


















Figura 18.- Ecorregiones presentes en el área de distribución potencial de la especie *Darapsa choerilus*.

Ecorregiones

- | | | |
|--|---|--|
|  Bosque húmedo tropical y subtropical |  Bosque boreal y taiga |  Bosques y matorrales mediterraneos |
|  Bosque seco tropical y subtropical |  Pastizales, sabanas y matorrales tropicales |  Desiertos y matorrales xerófilos |
|  Bosque de coníferas tropical y subtropical |  Pastizales, sabanas y matorrales templados |  Manglares |
|  Bosque templado mixto |  Pastizales, sabanas inundados |  Aguas continentales |
|  Bosque templado de coníferas |  Pastizales y matorrales de montaña |  Hielo y nieve |
| |  Tundra | |

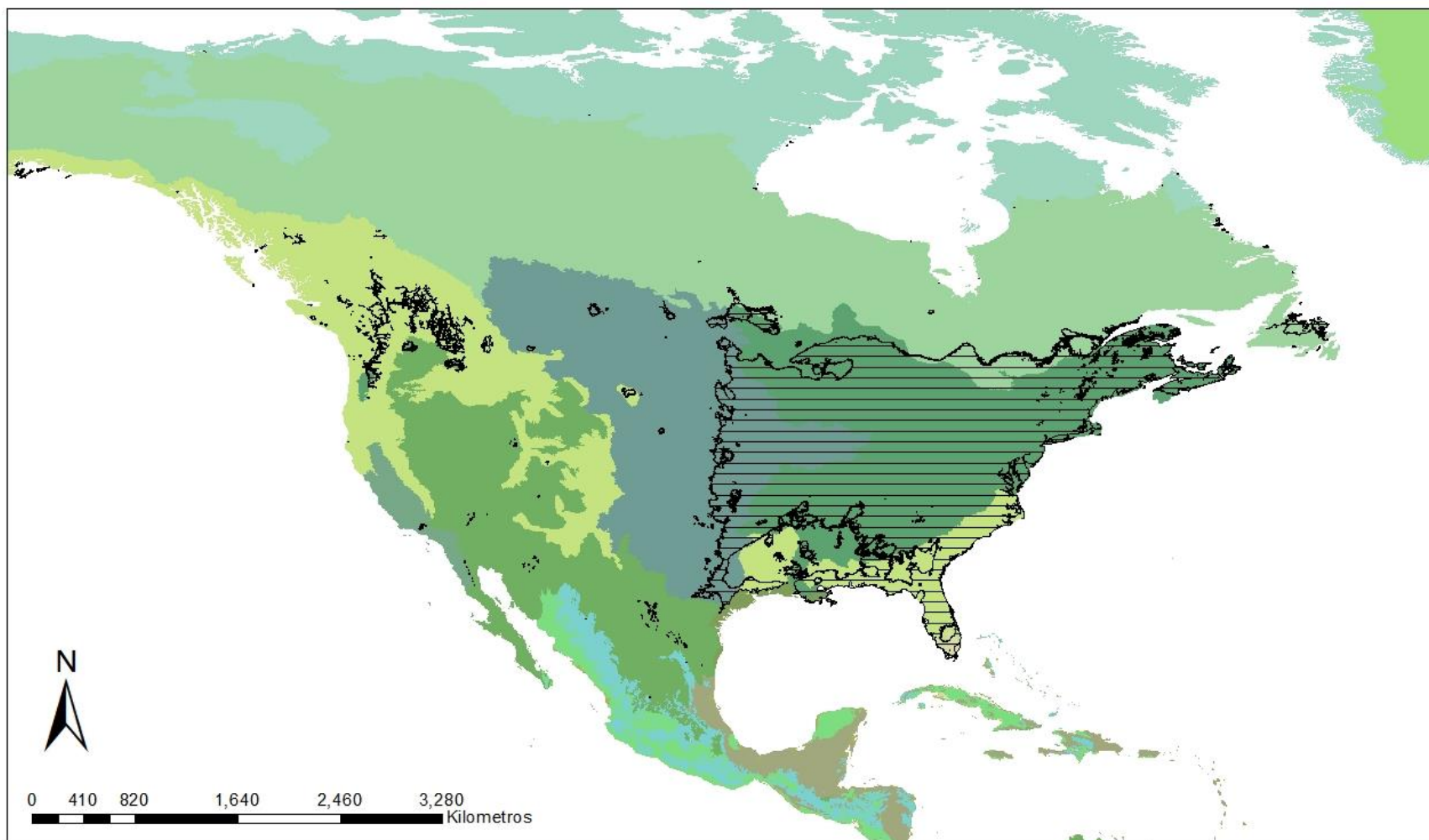


Figura 19.- Ecorregiones presentes en el área de distribución potencial de la especie de la especie *Hemaris thysbe*

Ecorregiones

- Bosque húmedo tropical y subtropical
- Bosque seco tropical y subtropical
- Bosque de coníferas tropical y subtropical
- Bosque templado mixto
- Bosque templado de coníferas

- Bosque boreal y taiga
- Pastizales, sabanas y matorrales tropicales
- Pastizales, sabanas y matorrales templados
- Pastizales, sabanas inundados
- Pastizales y matorrales de montaña
- Tundra

- Bosques y matorrales mediterraneos
- Desiertos y matorrales xerófilos
- Manglares
- Aguas continentales
- Hielo y nieve

DISCUSIÓN

Distribución potencial

La amplitud en la distribución potencial de la especie *Hemaris thysbe* puede deberse a que es conocida por sus hábitos alimenticios diurnos en praderas, suburbios o jardines de las zonas urbanas, que generalmente disponen plantas extranjeras de manera ornamental y que en comparación con las otras especies del estudio, tiene muchos más recursos florales abiertos y disponibles debido a su estilo de vida diurno, además se conoce por ser una especie polinizadora de algunas especies de orquídeas a diferencia de *Sphinx gordius* y *Darapsa choerilus* que son conocidas por ser polinizadoras nocturnas y que están restringidos en su dieta a flores que son generalmente blancas o de color claro (visibles durante la noche), con corolas largas y con un aroma fuerte, dulce o almizclado para atraer a los polinizadores en la oscuridad, y que por el contrario son conocidas por hospedar y alimentarse de plantas generalmente silvestres (Butterflies and Moths of North America, 2019; Covell, 2005; Tartaglia, 2013; Tuttle, 2007).

Los nichos ecológicos de los polinizadores están altamente asociados con los nichos ecológicos de la vegetación como producto de la coevolución entre la flora y los distintos grupos de polinizadores (Fenster *et al.*, 2004), lo que puede relacionarse directamente a las restricciones en la distribución de éstas especies a la región noreste del continente. Aunado a esto, en ecosistemas templados y tropicales la familia *Sphingidae* (Lepidoptera) se reconoce como un grupo importante, en el estudio de interacciones plantas-insectos, especialmente porque la longitud de la lengua de las polillas *Sphingidae* parece haber coevolucionado con la longitud de la corola de la planta, lo que las convierte en especies altamente específicas (Young *et al.*, 2017 y Johnson, *et al.* 2017), por tal motivo se entiende que la vegetación juega un papel muy importante en la idoneidad del hábitat para dichas especies y que quizá sea un factor importante que restrinja la distribución.

Por otra parte, a pesar de que el nicho ecológico de estas especies está inevitablemente relacionado con el nicho de otros grupos como lo son las plantas, y que en consecuencia la conservación de estos ecosistemas es una prioridad, es irrefutable que la diversidad genética que existe en la familia *Sphingidae* es un componente que ha derivado en una mayor o menor tolerancia a los factores físico-químicos del ecosistema (Bowler y Terblanche, 2007), como se puede observar en la especie *Hemaris thysbe* que presenta una amplitud mayor en su distribución en comparación con *Darapsa choerilus* y *Sphinx gordius*. Es necesario preservar esta diversidad genética que brinda un soporte vital a las especies ante las presiones selectivas que ocurren en el tiempo (Frankham, 2003), ya que las especies, y por lo tanto la diversidad, juegan un rol importante en la disponibilidad y calidad de los servicios ambientales (Myers, 1995; Luck, *et al.*, 2003 y Turner, 2007). Así mismo, la desaparición de estas especies, aunque no sabemos con qué magnitud, generará cambios en el ecosistema y podría afectar principalmente a aquellos organismos que se relacionan de manera directa con ellas, como plantas hospederas (Sobral-Souza, 2015) y algunos vertebrados e invertebrados para los que representan una fuente de alimento.

Factores que limitan la distribución potencial

Cabe destacar que a nivel global los bosques con mayor porcentaje de fragmentación se encuentran en Norteamérica, con un 44.9% del área continental forestal (interior) en categoría de fragmentación (Ritters *et al.*, 2000), los cuales en mayor parte están ubicados en la zona este de Canadá y Estados Unidos, misma zona donde se encuentra la distribución potencial las tres especies de acuerdo con cada modelo. Así mismo, el último censo realizado en 2018 por la OMB (United States Office of Magnament and Budget, por sus siglas en inglés) mostró que existe una mayor concentración de áreas metropolitanas en la zona este de Estados Unidos de Norteamérica, ya que en esta zona se encuentran 8 de las áreas urbanas con mayor número de habitantes (de 10 a 5 millones de habitantes) como lo son Nueva York, Chicago, Boston, Filadelfia, Washington D. C., Atlanta, Miami, Dallas y Houston, lo que conlleva a una mayor riesgo de contaminación de agua y suelo, así como una mayor contaminación del aire, que a su vez se relaciona con que la zona noreste de Estados Unidos y sureste de Canadá se caracterizan por ser de los territorios con mayor cantidad de inmuebles industriales en Norteamérica (Harris y Lewis, 2001; Caiazzo, 2005; NASA, 2014; Chand, 2015 y U.S. Geological Survey Circular, 2019; MIT, 2013;). Todos estos factores antrópicos, de forma directa o indirecta, probablemente influyen en la distribución de las especies de la familia *Sphingidae*, como lo es el caso para *H. thysbe* y *D. choerilus*.

La contaminación luminosa es otro factor que sin duda afecta la distribución de los lepidópteros, sobre todo a aquellos de hábitos nocturnos como *Darapsa Choerilus* y *Sphinx Gordius*, (Knop, 2017; Macgregor, *et al.*, 2015 y Grubisic 2018) la cual es también mayor en el lado este de Norteamérica, por los factores anteriormente mencionados (Cinzano, *et al.*, 2001).

Un estudio enfocado en el decline de diversidad de la familia *Sphingidae* (Lepidóptera) en el noreste de Estados Unidos de Norteamérica realizado por Young *et al.*, (2017), utiliza factores climáticos como un condicionante en su distribución y pone de manifiesto que causas como los métodos de control biológicos para lepidópteros plaga usando *Bacillus turingiensis* o la mosca parasitoide *Compsilura*, así como el cambio climático que a su vez favorece la presencia de esta última, la fragmentación de hábitat y la llegada de un barrenador de fresno (*Agilus planipennis*) que restringe la disponibilidad de pantas hospedadoras, son varias de las circunstancias por las cuales se observa una disminución en la diversidad de las polillas de esta familia, incluyendo las especies del presente estudio y que por lo tanto pueden ser elementos que infringen una presión sobre su distribución; no obstante, es importante mencionar que puede considerarse normal el que ciertas especies presenten una mejor adaptación y por tanto una mayor distribución y abundancia, ya que los ecosistemas al ser dinámicos dependen no solo de la diversidad de especies sino también de su diversidad genética (que influye en sus niveles de tolerancia a estos factores), para su resiliencia y estabilidad en el tiempo (Leslie y McCabe, 2013); pese a esto en los ecosistemas la mayoría de las especies se consideran especies raras, ya sea por su rango geográfico, su abundancia o la especificidad de hábitat y se ha comprobado que juegan un papel muy importante en la estabilidad a largo plazo de las funciones del ecosistema, sin embargo estas características las convierten en especies más vulnerables o susceptibles a la extinción o a la estocasticidad ambiental y demográfica ante los grandes

cambios antrópicos (Jain, *et al.*, 2014) como es el caso de *Darapsa choerilus* y *Sphinx gordius* de acuerdo con los modelos de distribución potencial del presente estudio.

Una proyección temporal podría comparar si dichos factores y su aumento en el tiempo limitan o expanden la distribución de estas especies, además de que las variables utilizadas para la predicción de modelos de nicho de este estudio son climáticas y no antrópicas; a pesar de esto, un soporte a esta teoría lo brindan Schmith y Roland, (2006) quienes encontraron un declive mayor al 60 y 80% de la diversidad en polillas en los bosques boreales fragmentados en Norte América. En los ecosistemas, así como en cualquier sistema abierto, todos los componentes se encuentran directa o indirectamente relacionados y por lo tanto cualquier cambio en ellos tiene efectos notables o ligeros en todos los demás componentes de éste, por lo que cualquier cambio de origen antrópico (por ejemplo, el clima) debe repercutir en los organismos (por ejemplo, las polillas) y viceversa (Hammond, 2003).

Relevancia económica

Por otro lado, las especies *Darapsa choerilus* y *Sphinx gordius* que presentan una amplitud más restringida, tienen una mayor importancia económica debido a que son huéspedes y polinizadoras de plantas comerciales como *Vitis viifera* (uva), *Pyrus comunis* (pera), varias especies del género *Malus* (manzanos) y *Vaccinum* (moras y arándanos), ya que a nivel mundial en 2018 se estimó una producción anual de 292.3 millones de hectolitros de vino, en 2013 la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) estimó una producción de 103 toneladas de peras y manzanas, y en 2013 la producción de arándanos se estimó en 11 millones de toneladas (Toranzo, 2016; FIRA; 2016; OIV, 2018); sin embargo, no existen estudios que resuman o desglosen la importancia tanto ecológica como económica que juegan las interacciones con otros organismos como las polillas hospederas o polinizadoras sobre estas plantas de interés comercial, que de acuerdo a los modelos de este estudio están restringiendo su hábitat a zonas cada vez más específicas y que están siendo sometidas a distintos factores que pueden limitar su distribución (Young, et al 2017). En el caso de *Hemaris thysbe* es polinizadora de una gran cantidad de orquídeas silvestres y de la planta en peligro de extinción *Oenothera deltoides* y a pesar de que su distribución sea más amplia en comparación las otras especies del estudio su conservación es necesaria para conservar la diversidad genética de las plantas silvestres, que como ya se discutió son necesarias para mantener la estabilidad a largo plazo de los ecosistemas como *Darapsa choerilus* y *Sphinx gordius*, además de que puede repercutir en la conservación de otras polillas. Asimismo, es importante estimar a nivel económico y ecológico el servicio ecosistémico que brindan estas especies para tener una mejor perspectiva sobre su manejo y conservación y poder comprender los factores que realmente influyen en su distribución.

Finalmente, es necesario insistir en el estudio de la biología y ecología de muchas especies de insectos como lo son las polillas *Hemaris thysbe*, *Darapsa choerilus* y *Sphinx gordius* para poder comprender que factores limitan o favorecen su distribución realmente, observando de manera directa las interacciones de estas especies, en los ecosistemas que habitan durante todo su ciclo de vida. A pesar de que lo anterior requiere más recursos económicos, humanos y un mayor lapso, permitiría

comprobar de primera mano los efectos que tienen las presiones antrópicas actuales del noreste de Norteamérica sobre estas especies de polinizadores. Asimismo, esto, aunque sutilmente, podría abrir paso a cuantificar los efectos económicos y antrópicos de los servicios ecosistémicos que brindan estas polillas de la familia *Sphingidae*. Por otro lado, el estudio de la vegetación silvestre también juega un papel primordial en el entendimiento de la distribución de muchos lepidópteros y estimar el nivel de asociación de estos organismos con la vegetación en el espacio geográfico puede ayudar a predecir su distribución de una manera más efectiva, mejorar las técnicas de conservación para ambas taxa y preservar la diversidad de ambas al aportar de alguna forma a la estabilidad y resiliencia en los ecosistemas.

CONCLUSIÓN

Las tres especies de polillas estudiadas presentan una amplia distribución potencial en el norte del continente americano. La especie que presentó una mayor área de distribución fue *Hemaris thysbe*. Los modelos de nicho ecológico permitieron conocer y proyectar la distribución potencial de estas tres especies de polillas las cuales juegan un importante papel ecológico como polinizadoras en sus ecosistemas. Estas especies se encuentran en sitios donde han recibido una importante presión antrópica, específicamente en el este de Norteamérica. Realizar estudios temporales sobre cómo ha variado la distribución de las polillas ayudaría comprender mejor la magnitud del problema del declive de los polinizadores, también es necesario explorar más en las interacciones, hábitos y características ambientales en torno a estas especies para obtener mejores resultados.

LITERATURA CITADA

- Argue, C. L. (2011). The pollination biology of North American orchids: Volume 1: North of Florida and Mexico. (Vol. 1). Springer Science and Business Media.
- Arno, S. F. (1990). Northwest Trees: Identifying and Understanding the Region's Trees. Mountaineers.
- Arno, S. F. (1984). Timberline: mountain and arctic forest frontiers. Timberline: mountain and arctic forest frontiers.
- Batalden, R. V., Oberhauser, K., y Peterson, A. T. (2014). Ecological niches in sequential generations of eastern North American monarch butterflies (Lepidoptera: Danaidae): the ecology of migration and likely climate change implications. *Environmental Entomology*, 36(6), 1365-1373.
- Barredo, J. I., Strona, G., de Rigo, D., Caudullo, G., Stancanelli, G., y San-Miguel-Ayanz, J. (2015). Assessing the potential distribution of insect pests: case studies on large pine weevil (*Hylobius abietis* L) and horse-chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella*) under present and future climate conditions in European forests. *EPPO Bulletin*, 45(2), 273–281.

- Barstow, M. 2017. *Pyrus communis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T173010A61580281. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T173010A61580281.en>. [05 October 2019]
- Barve, N., Bonilla, J. A., Brandes, J., Brown, J.C., Brunzell, N., Cochran, F. V., Crosthwait, R. J., Gentry, J., Gerhart, L. M., Jackson, T., Kern, A. J., Oberhauser, K. S., Owens, H. L., Peterson, A. T., Reed, A. S., Soberón, J., Sundberg, A. D. y Williams, L. D. (2012). Eventos de mortandad masiva y cambio climático en poblaciones invernales de la mariposa Monarca. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83: 817-824.
- Biodiversity Climate Change Virtual Laboratory (BCCVL). (2019). Maxent: Alogorithm information, (SDMs). Disponible en: <https://support.bccvl.org.au/support/solutions/articles/6000083216-maxent>
- Borror, D.J., C.A. Triplehorn and N.F. Johnson. (1989). *An Introduction to the Study of Insects*. 6 ed. Saunders College Publishing, Fort Worth, USA pp. 588-590.
- Bowler, K., y Terblanche, J. S. (2008). Insect thermal tolerance: what is the role of ontogeny, ageing and senescence? *Biological Reviews*, 83(3), 339–355.
- Bradshaw CJA, Giam X, Sodhi NS (2010). Evaluating the Relative Environmental Impact of Countries. *PLoS ONE* 5(5), 1-16. e10440
- Broennimann, O., Fitzpatrick, M. C., Pearman, P. B., Petitpierre, B., Pellissier, L., Yoccoz, N. G., Thuiller W, Fortin M-J, Randin C, Zimmermann NE, Graham CH y Guisan A Graham, C. H. (2012). Measuring ecological niche overlap from occurrence and spatial environmental data. *Global Ecology and Biogeography*, 21(4), 481-497.
- Butterflies and Moths of North America, (BAMONA). (2017). Lotts, K. y Naberhaus, T.. Agosto de 2019. Disponible en: <https://www.butterfliesandmoths.org/>
- Caiazzo, F., Ashok, A., Waitz, I. A., Yim, S. H. L., & Barrett, S. R. H. (2013). Air pollution and early deaths in the United States. Part I: Quantifying the impact of major sectors in 2005. *Atmospheric Environment*, 79, 198–208.
- Chand, S. (2015), 8 Major Industrial Regions of USA and Southern Canada, Your Article Library. Retrieved on 23 July 2015 from: <http://www.yourarticlelibrary.com/industries/8-major-industrial-regions-of-usa-and-southern-canada/25390/>
- Chiquetto-Machado, P. I., Amorim, F. W. y Duarte, M. (2018). Long-term stability of the hawkmoth fauna (Lepidoptera, Sphingidae) in a protected area of Brazilian Atlantic Rain Forest. *Journal of Insect Conservation*, Springer. 22 (2), 277–286.
- Cinzano, P. Falchi, P. F. y Elvidge, C. D. (2001).The first World Atlas of the artificial night sky brightness. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 328, 689–707

- CONABIO y University of Kansas. (2014). Curso: Nichos y áreas de distribución. Disponible en: <http://nicho.conabio.gob.mx/home/proposito-y-guia-del-usuario>
- Coladonato, Milo. 1992. *Rhododendron periclymenoides*. In: Fire Effects Information System. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory (Producer). Disponible en: <https://www.fs.fed.us/database/feis/plants/shrub/rhoper/all.html> [2019, October 3].
- Costa, G. C., Nogueira, C., Machado, R. B., y Colli, G. R. (2010). Sampling bias and the use of ecological niche modeling in conservation planning: a field evaluation in a biodiversity hotspot. *Biodiversity and Conservation*, 19(3); 883-899.
- Covell Jr., C.V. (2005). *A field guide to moths of eastern North America*. Virginia Museum of Natural History, Martinsville, VA, p. 496.c
- Crane, E. (1999). *The world history of beekeeping and honey hunting*. Routledge.
- Dennis, R. L., Hodgson, J. G., Grenyer, R., Shreeve, T. G., & Roy, D. B. (2004). Host plants and butterfly biology. Do host-plant strategies drive butterfly status?. *Ecological Entomology*, 29(1), 12-26.
- Ehrlich, P. R., y Raven, P. H. (1964). Butterflies and Plants: A Study in Coevolution. *Evolution*, 18(4). 586-608
- Elith, J., y Leathwick, J. R. (2009). Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction. *Across Space and Time. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40(1), 677–697.
- Escobar, L. E., y Craft, M. E. (2016). Advances and limitations of disease biogeography using ecological niche modeling. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1174
- Ewing, S. (2012). *The Great Alaska Nature Factbook: A Guide to the State's Remarkable Animals, Plants, and Natural Features*. Graphic Arts Books.
- FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación (2013). *Producción agrícola mundial. Artículo en línea* (Agosto, 2019). Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Fenster, C. B., Armbruster, W. S., Wilson, P., Dudash, M. R. y Thomson, J. D. (2004). Pollination Syndromes and Floral Specialization. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 35, 375-403
- Fisher, A., Saniee, K., Van der Heide, C., Griffiths, J., Meade, D., & Villablanca, F. (2018). Climatic niche model for overwintering monarch butterflies in a topographically Complex region of California. *Insects*, 9(4), 167-174.

- FIRA (Fideicomisos instituidos en relación con la agricultura). (2016). Programa alimentario: Berries. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200633/Panorama_Agroalimentario_Berries_2016.pdf [Octubre, 2019]
- Fleming, R. C. (2017). Food plants of some adult sphinx moths (Lepidoptera: Sphingidae). *The Great Lakes Entomologist*, 3(1), 2.
- Frankham, R. (2003). Genetics and conservation biology. *Comptes Rendus Biologies*, 326, 22–29.
- Ghazanfar, M., Malik, M. F., Hussain, M., Iqbal, R., & Younas, M. (2016). Butterflies and their contribution in ecosystem: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 115(42), 115-8.
- Goldstein, P. Z. (2017). Diversity and significance of Lepidoptera: a phylogenetic perspective. *Insect Biodiversity: Science and Society*, 1(2), 463-495.
- Grubisic, M., Van Grunsven, R. H. A, Kyba, C. C. M., Manfrin, A. y Hölker, F. (2018). Insect declines and agroecosystems: does light pollution matter? *Annals of applied biology: an international journal of the QQB*. 173(2), 180-189
- Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. E. (2017). *Habitat suitability and distribution models: with applications in R*. Cambridge University Press.
- Hammond, D. (2010). *The science of synthesis: exploring the social implications of general systems theory*. University press of Colorado. First edition. Cap. 2, 31-47.
- Harris, R., & Lewis, R. (2001). The Geography of North American Cities and Suburbs, 1900-1950. *Journal of Urban History*, 27(3), 262–292.
- Hernández-Baz, F., Romo, H., González, J. M., Hernández, M. D. J. M., y Pastrana, R. G. (2016). Maximum entropy niche-based modeling (Maxent) of potential geographical distribution of *Coreura albicosta* (Lepidoptera: Erebidae: Ctenuchina) in Mexico. *Florida Entomologist*, 99(3), 376-381.
- Hessel, S. A. (1976). A preliminary scan of rare and endangered Nearctic moths. *Atala*, 4(1-2), 19-21.
- Heusinkveld B.G. y Lelieveld C. (2016). Green Junkie: Plant-powered air cleaning? Project report for Stimulus Projects. Amsterdam Institute for advanced metropolitan solutions. Wageningen University and Research, P.O.
- Hodges, R. W., Dominick, T., Davis, D., Ferguson, D., Franclemont, J., Munroe, E., y Powell, J. (1971). *The moths of America north of Mexico*. RB D. Publication & EW Classey. fascículo, 21.

- Jain, M., Flynn, D. F., Prager, C. M., Hart, G. M., Devan, C. M., Ahrestani, F. S., Palmer, M. I., Bunker, D., Knops, M. H., Jouseau, C. y Naeem, S. (2014). The importance of rare species: a trait-based assessment of rare species contributions to functional diversity and possible ecosystem function in tall-grass prairies. *Ecology and evolution*, 4(1), 104–112.
- Illoldi-Rangel, P. y Escalante, T. (2008). De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía*, 3, 7-12.
- Johnson, S. D. y Raguso, R. (2016). The long-tongued hawkmoth pollinator niche for native and invasive plants in Africa. *Ann Bot* 117:25–36
- Johnson, S. D., Moré, M. Amorim, F. W., Haber F. W., Frankie, G. W., Stanley, D. A., Cocucci A. A. y Raguso, R. A. (2017). Plant-Pollinator Interactions From Flower To Landscape. The long and the short of it: a global analysis of hawk moth pollination niches and interaction networks. *Functional ecology*, British ecological society. 31, 101–115
- Kearney, M., y Porter, W. (2009). Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species' ranges. *Ecology Letters*, 12(4); 334-350.
- Kearney, M., Simpson, S. J., Raubenheimer, D., & Helmuth, B. (2010). Modelling the ecological niche from functional traits. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1557), 3469-3483.
- Keeler, H. L. (1915). *Our native trees and how to identify them: a popular study of their habits and their peculiarities*. Scribner's.
- Kitching, I.J. & Cadiou, J.-M. (2000). *Hawkmoths of the world. an annotated and illustrated revisionary checklist (Lepidoptera: Sphingidae)*. Cornell University Press, Ithaca- The Natural History Museum, Londres.
- Knop, E., Zoller, L., Ryser, Gerpe, C. Hörler, M & Fontaine, C. (2017). Artificial light at night as a new threat to pollination. *Letter, Nature*. 548, 206-209
- Kumar, S., Neven, L. G., & Yee, W. L. (2014). Evaluating correlative and mechanistic niche models for assessing the risk of pest establishment. *Ecosphere*, 5(7); 1-23.
- Leslie, P., y McCabe (2013). Response diversity and resilience in social-ecological systems. *Current Anthropology*, 54(2), 000-000.

- Luck, G. W., Daily, G., C. y Ehrlich, P. R. (2003). Population diversity and ecosystem services. *Trends in ecology and evolution*. 18 (7), 331-336.
- Macgregor, C. J., Pocock, M. J. O., Fox R. y Evans, D. M. (2014). Pollination by nocturnal Lepidoptera, and the effects of light pollution: a review. *Ecological Entomology*. Wiley online library. 40(3): 187-321
- Mallet, J. (2007). Taxonomy of Lepidoptera: the scale of the problem. The Lepidoptera Taxome Project. University College, London. 4 de marzo, 2019. <https://www.ucl.ac.uk/taxome/>
- Mallet. J. (2014): Lepidoptera Taxome Project. University College, London. Disponible en: <https://www.ucl.ac.uk/taxome/>
- Marmion, M., M. Parviainen, M. Luoto, R.K. Heikkinen y W. Thuilier. (2009). Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Divers. Distrib.* 15: 59-69
- Martínez-Meyer, E. (2014). Introducción al modelado de nichos ecológicos y distribución de especies. Instituto de biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: http://www.recibio.net/wp-content/uploads/2014/01/Intro-Modelado-de-nichos_EMM.pdf
- MIT: Massachusetts Institute of technology , (2013). Air pollution causes 200,000 early deaths each year in the U.S: New MIT study finds vehicle emissions are the biggest contributor to these premature deaths. Chu, J. Disponible en: <http://news.mit.edu/2013/study-air-pollution-causes-200000-early-deaths-each-year-in-the-us-0829>
- McNeely, J. A., Miller, K. R., Reid, W. V., Mittermeier, R. A., y Werner, T. B. (1990). Conserving the world's biological diversity. IUCN. World Resources Institute, Conservation International, WWF-US and the World Bank, Washington, DC. 193p: Ill. 4 de marzo, 2019. <https://portals.iucn.org/library/node/5888>
- McWilliams, J. 2000. *Symphoricarpos albus*. In: Fire Effects Information System. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory (Producer). Disponible en: <https://www.fs.fed.us/database/feis/plants/shrub/symalb/all.html> [3 de Octubre de 2019].
- Moré, M., Kitching, I., Cocucci, A. A. Riog-Juñent, S., Claps, L. E., y Morrone, J. J. (2014). Lepidoptera: Sphingidae. *Biodiversidad de artrópodos*. 4, 281-295.
- Myers N. 1992. *The Primary Source: Tropical Forests and Our Future*. New York: Norton

- National Aeronautics and Space Administration (NASA), (2014). NASA Images Highlight U.S. Air Quality Improvement. Disponible en: <https://www.nasa.gov/content/goddard/new-nasa-images-highlight-us-air-quality-improvement/>
- Nicholson, R. (1999). The Blackest Flower in the World: Between a rutted road and a burned field in Mexico, scientists find. *Natural history*, 108(4), 60-63.
- Ning, S., Wei, J., y Feng, J. (2017). Predicting the current potential and future worldwide distribution of the onion maggot, *Delia antiqua*, using maximum entropy ecological niche modeling. *PloS one*, 12(2); e0171190. 150-158
- Núñez-Bustos, E. (2015). Catálogo revisado y actualizado de Sphingidae de Argentina, con seis nuevos registros (*Lepidoptera: Sphingidae*). *SHILAP Revista de lepidopterología*, 43(172), 615-631.
- Oberhauser, K., y Peterson, A. T. (2003). Modeling current and future potential wintering distributions of eastern North American monarch butterflies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(24), 14063-14068.
- OIV (Organización internacional vinícola). (2019). Con 292,3 millones de hectolitros, la producción mundial de vino alcanza un récord en 2018. Disponible en: <http://www.oiv.int/es/actualidad-de-la-oiv/con-2923-millones-de-hectolitrosnbspla-produccion-mundial-de-vino-alcanza-un-record-en-2018>
- OMB Bulletin No. (2018). 18-04 Executive Office of the President, Office of Management and Budget.
- Peterson, A. T., Martínez-Campos, C., Nakazawa, Y., y Martínez-Meyer, E. (2005). Time-specific ecological niche modeling predicts spatial dynamics of vector insects and human dengue cases. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 99(9); 647-655.
- Peterson, A. T., Martínez-Meyer, E., González-Salazar, C., & Hall, P. W. (2004). Modeled climate change effects on distributions of Canadian butterfly species. *Canadian Journal of Zoology*, 82(6), 851–858.
- Peterson, A. T., Ortega-Huerta, M. A., Bartley, J., Sánchez-Cordero, V., Soberón, J., Buddemeier, R. H., y Stockwell, D. R. B. (2002). Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*, 416(6881), 626–629.
- Peterson, A. T., Soberón, J., y Sánchez-Cordero, V. (1999). Conservatism of ecological niches in evolutionary time. *Science*, 285(5431), 1265-1267.

- Pliscoff, P., y Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*. (48); 61-79.
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., y Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345–353.
- Purvis, A., y Hector, A. (2000). Getting the measure of biodiversity. *Nature*, 405(6783), 212-219.
- Ramos-Elorduy, J., Moreno, J. M., Vázquez, A. I., Landero, I., Oliva-Rivera, H., & Camacho, V. H. (2011). Edible Lepidoptera in Mexico: Geographic distribution, ethnicity, economic and nutritional importance for rural people. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 7(1), 1-22
- Reiss, H., Cunze, S., König, K., Neumann, H., y Kröncke, I. (2011). Species distribution modelling of marine benthos: a North Sea case study. *Marine Ecology Progress Series*, 442; 71-86.
- Riitters, K., Wickham, J., O'Neill, R., Jones, B. y Smith E. (2000). Global-scale patterns of forest fragmentation. *Conservation Ecology* 4(2): 3
- Riotte, J.C.E., (1980). *Sphinx poecila*: a valid North American hawk moth species (*Lepidoptera: Sphingidae*). *Great Lakes Entomol.* 13, 115–130
- Rocchini, D., Hortal, J., Lengyel, S., Lobo, J.M. Jiménez-Valverde, A., Ricotta, C., Giovanni, B. y Chiarucc, A. (2011). Accounting for uncertainty when mapping species distributions: The need For maps of ignorance. *Progress in Physical Geography*. 35(2); 211–226.
- Rousseau, J. (1947). Ethnobotanique abénakise. *Arch Folklore*, 11, 145-182.
- Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological conservation*, 232, 8-27.
- Sauer, J. D. (1993). Amaranthaceae-amaranth family. *Historical geography of crop plants: A select roster*, 9-14.
- Schmidt, B. C. y Roland J. (2006). Moth Diversity in a Fragmented Habitat: Importance of Functional Groups and Landscape Scale in the Boreal Forest. *Annals of the Entomological Society of America*, 99(6), 1110-1120.
- Schminke, H. K. (2006). Entomology for the copepodologist. *Journal of Plankton Research*, 29(suppl_1), i149-i162.

- Simberloff, D. (1998). Flagships, umbrellas, and keystones: is single-species management passé in the landscape era?. *Biological conservation*, 83(3), 247-257.
- Smith, S. B., McPherson, K. H., Backer, J. M., Pierce, B. J., Podlesak, D. W., y McWilliams, S. R. (2007). Fruit quality and consumption by songbirds during autumn migration. *The Wilson Journal of Ornithology*, 119(3), 419-429.
- Sphingidae of the United States of America. (2018). Biology, ecology and distribution. Kesting-Handly, T. Agosto de 2019. Disponible en: <https://www.sphingidae.us/about.html>
- Soberón, J. M. (2010). Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. *Ecography*, 33(1); 159-167.
- Soberón, J. M., Llorente, J. B., y Oñate, L. (2000). The use of specimen-label databases for conservation purposes: an example using Mexican Papilionid and Pierid butterflies. *Biodiversity and Conservation*. Kluwer Academic Publishers. 9(10); 1441–1466.
- Soberón, J., y Peterson, A. T. (2005). Interpretation of Models of Fundamental Ecological Niches and Species' Distributional Areas. *Biodiversity Informatics*, 2(0). 1-10.
- Sobral-Souza, T., Francini, R. B., & Lima-Ribeiro, M. S. (2015). Species extinction risk might increase out of reserves: allowances for conservation of threatened butterfly *Actinote quadra* (*Lepidoptera: Nymphalidae*) under global warming. *Natureza & Conservação*, 13(2), 159–165.
- Stephens, J. P., Berven, K. A., y Tiegs, S. D. (2013). Anthropogenic changes to leaf litter input affect the fitness of a larval amphibian. *Freshwater Biology*, 58(8), 1631-1646.
- Stork, N. E., McBroom, J., Gely, C., y Hamilton, A. J. (2015). New approaches narrow global species estimates for beetles, insects, and terrestrial arthropods. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(24), 7519-7523.
- Tartaglia, S. E. (2013). Hawkmoth–flower interactions in the urban landscape: *Sphingidae* ecology, with a focus on the genus *Hemaris*. University of New Jersey, Graduate program of Ecology and Evolution.
- Tilford, G. L. (1997). *Edible and medicinal plants of the West*. Mountain Press Publishing.
- Toranzo, J. (2016). *Producción mundial de manzanas y peras*. Negro: Ediciones INTA, Libro digital, - 1a ed.

- Tull, D. (2013). *Edible and Useful Plants of the Southwest: Texas, New Mexico, and Arizona*. University of Texas Press.
- Turner, W. R., Brandon, K., Brooks, T. M., Costanza, R., Da Fonseca, G. A., & Portela, R. (2007). Global conservation of biodiversity and ecosystem services. *BioScience*, 57(10), 868-873.
- Tsuda, Y., y Ide, Y. (2005). Wide-range analysis of genetic structure of *Betula maximowicziana*, a long-lived pioneer tree species and noble hardwood in the cool temperate zone of Japan. *Molecular Ecology*, 14(13), 3929-3941.
- Tuttle, J. P. (2007). *The Hawk Moths of North America. A natural history study of the Sphingidae of the United States and Canada*. Wedge Entomological Research Foundation.
- van Nieuwerkerken, E. J., Kaila, L., Kitching, I. J., Kristensen, N. P., Lees, D. C., Minet, J., Mitter, C., Mutanen, M., Regier, J.C., Simonsen, T.J. & Wahlberg, N. (2011). Order Lepidoptera Linnaeus, 1758. *Zootaxa*, 3148, 212-221.
- United States Geological Survey USFS,(2019). Urbanization and water quality; disponible en https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/urbanization-and-water-quality?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
- Walters, S. M., Brady, A., Brikell, C. D., Cullen, J., Green, P. S., Lewis, J., y Alexander, J. C. M. (1986). 2000. *European garden flora*.
- White house, Office of the press secretary. (2014). Fact Sheet: The Economic Challenge Posed by Declining Pollinator Populations. President Barak Obama, 20 June 2014. Disponible en: <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2014/06/20/fact-sheet-economic-challenge-posed-declining-pollinator-populations> [01 de Octubre de 2019]
- Young BE, Auer S, Ormes M, Rapacciuolo G, Schweitzer D, Sears N. (2017). Are pollinating hawk moths declining in the Northeastern United States? An analysis of collection records. *PLoS ONE* 12(10): 1-20. e0185683.
- Zumbado, M. A. y Azofeifa, D. (2018). *Insectos de Importancia Agrícola. Guía Básica de Entomología*. Heredia, Costa Rica. Programa Nacional de Agricultura Orgánica (PNAO). 204 pp.

ANEXOS

Anexo 1.- Resultados del AUC (Area Under the Receiver Operating Curve) para las distintas configuraciones de los modelos de nicho ecológico generados por especie

Especie		Configuración del Modelo						
		R 0.5	R 2	R 3	QFR1DP1	QFR1DP0.5	LFR1DP1	LR1DP0.5
Sphinx gordius	<i>AUC de los datos de entrenamiento</i>	0.927	0.899	0.891	0.760	0.774	0.765	0.778
	<i>AUC de los datos de Prueba</i>	0.899	0.863	0.889	0.810	0.777	0.729	0.758
Darapsa Choerilus	<i>AUC de los datos de entrenamiento</i>	0.933	0.916	0.898	0.857	0.851	0.867	0.864
	<i>AUC de los datos de Prueba</i>	0.901	0.898	0.893	0.844	0.857	0.883	0.858
Hemaris thysbe	<i>AUC de los Datos de entrenamiento</i>	0.857	0.900	0.930	0.882	0.879	0.868	0.870
	<i>AUC de los datos de Prueba</i>	0.847	0.898	0.924	0.871	0.877	0.882	0.878

Simbología: R1, 2 y 3 (Regularización a 1, 2 y 3), QFR1DP1 (Quadratic features/características cuadráticas, regularización de 1 y default prevalence/prevalencia por default de 1), QFR1DP0.5 (Quadratic features/características cuadráticas, regularization de 1 y default prevalence/ prevalencia por default de 0.5), LFR1DP1 (Linear features/características lineales, regularization de 1 y default prevalence/ prevalencia por default de 1) y LR1DP0.5 (Linear features/características lineales, regularization de 1 y default prevalence de 0.5). Las filas en rojo son los modelos seleccionados por su AUC