



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE BIOLOGÍA, ECOLOGÍA Y GESTIÓN**

**Comparación de la distribución potencial del género *Catantia* en el Ecuador  
obtenida por tres métodos predictivos**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:  
**BIÓLOGA CON MENCIÓN EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN**

**Autoras:**

**SARA CAMILA DURÁN PUNO**  
**GABRIELA MICHELLE ORELLANA QUINTUÑA**

**Director:**

**PhD. PABLO SEBASTIÁN PADRÓN MARTÍNEZ**

**CUENCA, ECUADOR**

**2020**

**DEDICATORIA**

A nuestra familia, que nunca dejó de creer en nosotras y de apoyarnos siempre con gran sabiduría y eterna paciencia. Muchas gracias por su amor incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer a nuestro director, Sebastián Padrón, por habernos brindado la oportunidad de aprender y trabajar junto a él cada día, por ser no solo un mentor sino también un consejero y amigo.

Muchas gracias a Boris Tinoco, Omar Delgado y el equipo de trabajo del IERSE, por la ayuda ofrecida, el tiempo destinado y cada sugerencia realizada para la elaboración de este trabajo.

Gracias a Pedro Astudillo, por brindarnos su ayuda ante las consultas realizadas.

Gracias a los miembros del laboratorio de Entomología por su apoyo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS .....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VII</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>5</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>5</b>
Área de estudio.....	5
Descripción del género: .....	5
Registros de distribución: .....	5
Variables ambientales:.....	6
Selección de especies: .....	7
Modelamiento: .....	9
Evaluación de los modelos: .....	9
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>11</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>11</b>
Mapas MDE .....	11
Valores del análisis Área Bajo la Curva: .....	12
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>14</b>
<b>DISCUSIONES .....</b>	<b>14</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>19</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>32</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Variables bioclimáticas utilizadas por los programas MaxEnt y DIVAGIS para generar los mapas de distribución de especies de mariposas del género <i>Catantixia</i> , presentes en el Ecuador, fuente: WorldClim, versión 1.3, octubre del 2004. ....	7
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de especies según el número de registros que poseen y el número de localidades en las que fueron colectadas. ....	8
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de los valores de la curva AUC.....	10
<b>Tabla 4.</b> Valores del análisis de la curva AUC de los modelos de predicción para cada especie. ....	13

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapas de distribución potencial elaborados con BIOCLIM, DOMAIN y MaxEnt para tres especies, A) <i>C. thomasorum</i> 11 localidades, siendo la especie con menor cantidad de localidades. B) <i>C. semiramis</i> con 36 localidades y C) <i>C. susiana</i> con 117 localidades. ....	11
<b>Figura 2.</b> Curva de los valores AUC correspondientes a los modelamientos elaborados con BIOCLIM, DOMAIN y MaxEnt para tres especies A) <i>C. thomasorum</i> , B) <i>C. semiramis</i> y C) <i>C. susiana</i> .....	12

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Comparación de los mapas resultantes de los MDE de mariposas del género <i>Catantixia</i> en el Ecuador, mediante tres métodos predictivos. ....	32
<b>Anexo 2.</b> Curvas AUC de los MDE de mariposas del género <i>Catantixia</i> en el Ecuador, mediante tres métodos predictivos.....	39

**COMPARACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL GÉNERO  
*CATASTICTA* EN EL ECUADOR OBTENIDA POR TRES MÉTODOS  
PREDICTIVOS**

**RESUMEN**

Los modelos de distribución geográfica nos permiten obtener una aproximación del hábitat idóneo de una especie; esto representa un área de investigación importante y dinámica en múltiples disciplinas. Sin embargo, existen pocos estudios realizados sobre grupos megadiversos como los insectos. En el presente trabajo, se estimó la distribución potencial de mariposas del género *Catasticta* en el Ecuador, utilizando tres métodos predictivos: BIOCLIM, DOMAIN y MaxEnt, comparándolos mediante el análisis AUC. Los resultados mostraron que todos los métodos poseen una excelente capacidad de predicción de hábitat idóneo, pues son estadísticamente significativos. Sin embargo, es necesario realizar futuros análisis donde no solo se incorporen variables climáticas sino también otro tipo de variables como ecológicas.

**Palabras clave:** distribución geográfica, mariposas, *Catasticta*, andes tropicales, Ecuador.



Dr. Pablo Sebastián Padrón Martínez  
**Director del Trabajo de Titulación**



Dr. Antonio Crespo Ampudia  
**Coordinador de Escuela**



Sara Camila Durán Puno

**Autora**



Gabriela Michelle Orellana Quintuña

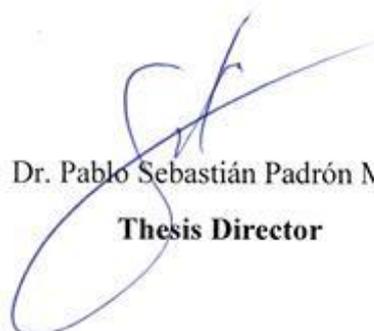
**Autora**

## COMPARISON OF THE POTENTIAL DISTRIBUTION OF THE *CATASTICTA* GENDER IN ECUADOR OBTAINED BY THREE PREDICTIVE METHODS

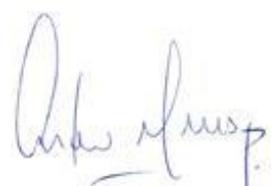
### ABSTRACT

Geographical distribution models allow to obtain an approximation of the ideal habitat of a species, this represents an important and dynamic research area in multiple disciplines. However, there are few studies conducted on mega-diverse groups such as insects. In this work, the potential distribution of butterflies of the *Catasticta* genus in Ecuador was estimated using three predictive methods: BIOCLIM, DOMAIN and MaxEnt. These were compared using the AUC analysis. The results showed that all methods have an excellent ability to predict suitable habitats, since they are statistically significant. However, it is necessary to carry out future analyzes where not only climate variables are incorporated but also other types of ecological variables.

**Keywords:** geographic distribution, butterflies, *Catasticta*, tropical Andes, Ecuador.



Dr. Pablo Sebastián Padrón Martínez  
**Thesis Director**



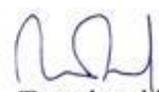
Dr. Antonio Crespo Ampudia  
**Faculty Coordinator**



Sara Camila Durán Puno  
**Author**



Gabriela Michelle Orellana Quintuña  
**Author**

Translated by  
Ing. Paúl Arpi

## INTRODUCCIÓN

Entender cómo están distribuidos los organismos en la Tierra representa un área de investigación importante y dinámica en múltiples disciplinas (Wisz et al., 2013; Van Proosdij et al., 2016; Anderson, 2017; Morán-Ordóñez et al., 2017; Taylor et al., 2018). Se sabe que todas las especies poseen un área de distribución (Mateo et al., 2012) la cual está determinada principalmente por condiciones del medio físico (variables climáticas, ecológicas topográficas y geográficas) y relaciones inter e intraespecíficas (Obregón et al., 2014). Esta información, nos permite proyectar de manera acertada las áreas de distribución potencial de las especies, las cuales se definen como el espacio geográfico donde una especie está presente e interactúa con el ecosistema (Mateo et al., 2011); pero la fidelidad de estas estimaciones y los resultados dependerá de la selección y evaluación adecuada del método a usar. En los últimos años, nuevos y diferentes métodos estadísticos han sido empleados (Giannini et al., 2013; Naimi & Araújo, 2016; Di Cola et al., 2017; Guillera-Aroita, 2017; Guisan et al., 2017; Guisande et al., 2017; Fois et al., 2018; Golding et al., 2018; Kass et al., 2018), los cuales, en conjunto con datos biológicos-ambientales, permiten una mayor confiabilidad en el modelamiento y creación de Modelos de Distribución de Especies (MDE) (Guisan & Thuiller, 2005; Franklin, 2010a; Mateo et al., 2011).

Los MDE son sistemas que nos permite obtener una aproximación de las áreas en donde la probabilidad de ocurrencia de especies es mayor, debido principalmente a la presencia de condiciones ambientales óptimas para cada especie (Obregón et al., 2014). Los MDEs utilizan diferentes algoritmos y están formados por los siguientes elementos: un modelo de los factores bióticos y abióticos que controlan la distribución de especies en el espacio-tiempo, datos de ocurrencia de las especies en el espacio geográfico, modelos estadísticos que evalúan el error generado en las predicciones del modelamiento y sistemas de información geográfica que permiten proyectar los mapas de ocurrencia de especies (Naoki et al., 2006; Franklin, 2010a). Uno de los objetivos del MDE es examinar cómo las ocurrencias certeras de la ubicación de una especie (en coordenadas geográficas) y las combinaciones de variables ambientales (limitadas por el espacio geográfico donde está presente dicha especie) están asociadas (Tognelli et al., 2009; Arreola, 2013); además de entender cómo el patrón de distribución de una especie en particular responde a aspectos a nivel local y/o global. En consecuencia, estas herramientas son prácticas y aplicables en ramas como la ecología, biogeografía, evolución, biología de la conservación, entre otras (Tognelli et al., 2009).

La clara comprensión de la distribución geográfica de una especie nos permite entender sus requerimientos de hábitat (Vaughan & Ormerod, 2005; Hurtado, 2007; Franklin, 2010a) identificar sus patrones de diversidad y evolución (García-Mateo, 2008; Morales, 2012; Vasconcelos et al., 2012; Azor-Hernández & Barro-Cañamero, 2014; Mędrzycki et al., 2017), identificar rangos de dispersión (Fleishman et al., 2003; Naoki et al., 2006; Mędrzycki et al., 2017), evaluar la propagación de especies invasoras e identificar amenazas (Hurtado-Guerra, 2012; De la Vega & Schilman, 2015; Quintana

et al, 2013), realizar proyectos de restauración ecológica (Gastón et al., 2014), manejar adecuadamente recursos naturales priorizando lugares para su conservación (Tellez-Valdes & Davila-Aranda, 2003; Allouche et al., 2006; García-Mateo, 2008; Franklin, 2010a; Franklin, 2010b; Van der Putten et al., 2010; Heit et al., 2013; Savino et al., 2013; Gastón et al., 2014), evaluar el impacto del cambio climático en la distribución de especies (McPherson & Jetz, 2007), proyectar su distribución espacial en regiones no exploradas o en escenarios con condiciones climáticas del pasado o futuro (De la Vega & Schilman, 2015), reintroducir especies (Guisan & Thuiller, 2005), mejorar el diseño de áreas protegidas (Franklin, 2010b) y obtener información sobre límites de tolerancia climática (Acosta & Guerrero, 2011).

En los MDE se reconocen cinco tipos fundamentales de técnicas: 1) discriminantes o aquellas que necesitan datos de presencia y ausencia, aunque también se pueden generar ausencias falsas (pseudo-ausencias), como en el caso de CART, MARS, RLM, MaxEnt; 2) descriptivas o aquellas que requieren solo datos de presencias, como DOMAIN, BIOCLIM, etc.; 3) mixtas o aquellas que combinan reglas de las dos técnicas anteriores, como GARP; 4) multirespuesta o que usan datos tanto de ausencias como técnicas de abundancia y finalmente, 5) de abundancia, y como su nombre lo indica, solo utilizan datos de abundancia (García-Mateo, 2008). De todos estos métodos, existen tres que son ampliamente aplicados en predicción de distribución de especies, se desempeñan relativamente bien en relación a otros métodos (Romo et al, 2006; García-Mateo, 2008; Acosta & Guerrero; 2011; González-Irusta et al., 2015; Jiménez-García & Campos-Figueroa, 2016) utilizan datos geográficos que representan la presencia de una especie (por tanto, es sencillo aplicarlos) y un conjunto de coberturas geográficas que corresponden a las variables ambientales capaces de limitar la supervivencia de los individuos (Naoki et al., 2006; Algar et al., 2009; Rujano et al., 2015): BIOCLIM, DOMAIN y MaxEnt.

BIOCLIM es un sistema que permite proyectar las variaciones en la distribución de una especie o un grupo de especies frente a cambios ambientales de temperatura y precipitación (Montoya, 2017), mediante el análisis de los perfiles bioclimáticos, para definir aquellos lugares con condiciones climáticas similares y determinar los límites probables en los cuales puede encontrarse la especie de estudio (Hurtado, 2007). Utilizar este método es ventajoso, pues se trata de un modelamiento simple, sus resultados son fáciles de entender y visualizar, y también es una herramienta flexible para evaluar distribuciones de especies en varias escalas espaciales y temporales (Montoya, 2017). Por otro lado, DOMAIN es un algoritmo proporciona una alternativa complementaria para el mapeo potencial de especies y es adecuado para aplicarse cuando los registros de ubicación de las especies o los datos ambientales de las zonas respectivas son limitados (Carpenter et al., 1993). Utiliza la métrica de Gower, técnica basada en la similitud punto a punto entre dos sitios, calculando la distancia entre un punto candidato al azar y un punto de ocurrencia real, culminando con la comparación de las variables ambientales que caracterizan ambos sitios (Hijmans, 2017). Finalmente, según Phillips et al., (2006) el modelo de máxima entropía (MaxEnt) *“tiene la capacidad de estimar la probabilidad de presencia de las especies buscando la distribución de máxima entropía (la más uniforme posible) en función de variables ambientales”*. Este modelamiento también construye curvas de respuestas muy

complejas no lineales dependiendo de los predictores ambientales usados, de la cantidad del muestreo de las especies, el sesgo de muestreo y la salida y evaluación del modelo (Merow et al., 2013). Se ha comprobado que este es uno de los modelos de mayor rendimiento y buen desempeño (Elith et al., 2006), pues se caracteriza por superar a otros métodos basados en la precisión predictiva, dado que se debe tomar una serie de decisiones sobre los datos y la variedad de configuraciones en el paquete de software para poder construir modelos a partir de estos datos (Merow et al., 2013).

Considerando estas aplicaciones y características, el MDE parece ser la herramienta más adecuada al momento de predecir el hábitat “idóneo” de las poblaciones de una especie en concreto o de una comunidad (Savino et al., 2013). Particularmente, para trabajar en lugares remotos donde no se ha muestreado lo suficiente debido a la dificultad para acceder a estos (Diaz, 2010) y, por ende, la posibilidad de que ahí existan especies cuya distribución (y los factores que la determinan) siga siendo desconocida. Tal es el caso de los insectos (el grupo de animales multicelulares con mayor diversidad en el planeta), el cual representa una importante oportunidad para estudiar los factores que condicionan la implementación y eficiencia del MDE. En el pasado, algunos estudios se han llevado a cabo sobre artrópodos (Oberhauser & Peterson, 2003; Hortal et al., 2004; Araújo & Luoto, 2007; Beaumont et al., 2007; Jiménez-Valverde et al., 2008; Kharouba et al., 2009; Eskildsen et al., 2013).

Basado en lo anterior, podemos decir que el estudio de la distribución potencial de especies por medio del MDE representa una oportunidad muy interesante en diversas aplicaciones. Su efectividad ha sido probada en varios grupos taxonómicos (Marini et al., 2010; Bond et al., 2011; Gogol-Prokurat, 2011; Reiss et al., 2011; Rondinini et al., 2011; Escalante et al., 2013) estos estudios, en su mayoría, se enfocan en organismos más conspicuos como los vertebrados y las plantas (Shaney et al., 2017; Sosa-Pivatto et al., 2017; Ashoori et al., 2018; Atouchi et al., 2018; Dyderski et al., 2018; Fois et al., 2018; Zhou et al., 2018; Moradi et al., 2019), que aunque desempeñan papeles importantes en los ecosistemas, no pueden considerarse representativos de la verdadera diversidad de organismos que habitan el planeta. Pero en los insectos, un grupo diverso y dominante, no se ha profundizado en la efectividad y la aplicabilidad del MDE; los pocos estudios que existen se enfocan en grupos de importancia económica y de salud como son los vectores de enfermedades en humanos (Candelario-Mejía et al., 2015) o plagas agrícolas y especies introducidas (Mateo et al., 2011; De la Vega & Schilman, 2015). Esto es contradictorio porque dichos grupos de importancia médica y agrícola son una parte muy pequeña de la diversidad de insectos. En consecuencia, futuras investigaciones deberían enfocarse en el resto de la megadiversidad de los mismos (Tognelli et al., 2009). Del mismo modo, al ser el MDE una herramienta indispensable para diferentes aplicaciones, su efectividad debería ser evaluada en grupos y regiones diversas, de tal forma que se pueda encontrar el modelo predictivo de mayor precisión y exactitud (De la Vega & Schilman, 2015).

Es por eso que en nuestra investigación comparamos los MDE generados a partir de tres métodos predictivos antes mencionados: MaxEnt (Phillips et al., 2006), BIOCLIM (Nix,

1986) y DOMAIN (Carpenter et al., 1993), enfocándonos en el género de mariposas *Catantixia* Butler, 1870 (Pieridae), el cual presenta una alta diversidad y endemismo en el Ecuador (Bollino & Padrón, 2016). Finalmente, el tener una base de datos georeferenciada y curada de registros de las especies de mariposas presentes del género *Catantixia* en el Ecuador, obtenida de un intenso trabajo de campo y de la revisión de las principales colecciones en el mundo, permite que podamos explorar los efectos de los tres métodos de estimación de distribución potencial.

## CAPÍTULO I

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### Área de estudio

Aunque el género de mariposas *Catantixia* está ampliamente distribuido en la región neotropical, este trabajo se enfocó en las especies presentes en el Ecuador continental; esto debido al grado de confiabilidad de los datos que fueron utilizados en los análisis.

#### Descripción del género:

El género *Catantixia* Butler (1870), perteneciente a la familia Pieridae (Lepidoptera), presenta una amplia distribución en el Neotrópico y una alta diversidad de especies (97) en relación a otros géneros de mariposas que se encuentran en esta región. La mayoría de las especies se encuentran en áreas montañosas; y es en las estribaciones de los Andes orientales donde se ha registrado una mayor diversidad entre elevaciones desde los 1500-2000 msnm (Radford & Willmott, 2013); es decir, que su distribución está correlacionada a las cadenas montañosas (Bollino & Costa, 2007). En consecuencia, los miembros de este género parecen estar estrechamente relacionados entre sí, compartiendo patrones similares de alas, pocos o nulos caracteres genitales útiles para la diferenciación de especies, y comparten hábitos y hábitats parecidos (Bollino & Boyer, 2008). En Ecuador se han registrado alrededor de 50 especies del género *Catantixia* (Willmott & Hall, datos no publicados).

#### Registros de distribución:

La información empleada en este estudio es resultado de una intensiva recopilación de datos provenientes de colecciones públicas, privadas, revisión bibliográfica y colecta de especímenes en el campo.

Las mariposas fueron colectadas en 16 provincias del territorio continental de Ecuador, nueve de estas pertenecientes a la región Sierra, seis al Oriente y una a la Costa. Para coleccionar estas mariposas en el campo, se utilizó la técnica de la red entomológica (Luna, 2005; Márquez, 2005; Andrade et al., 2013). Los especímenes colectados se depositaron en sobres y las localidades donde se colectaron se georeferenciaron. Algunos datos se obtuvieron a partir de páginas web, cuya información sobre mariposas es específica para especies registradas en el Ecuador (Petit, 2006; Willmott & Hall, 2018). Del mismo modo, varios artículos científicos fueron revisados para comparar la información proporcionada con los datos de georeferenciación previamente obtenidos, así como también para obtener más registros, en caso de ser posible (Reissinger, 1972; Raguso & Gloster, 1993; Nicolai, 1995; Racheli, 1996; Eitschberger & Racheli, 1998; Jasinski, 1998; Andrade, 2002; Bollino et al., 2002; Bollino & Vitale, 2002; Bollino et al., 2003; Bollino & Rodríguez, 2003; Bollino & Vitale, 2004; Lamas & Bollino, 2004; Pyrcz, 2004; Abadjiev, 2006; Bollino & Costa, 2007; Piñas, 2007; Bollino, 2008; Bollino & Boyer, 2008; Braby & Nishida, 2010; Gareca & Reichle, 2010; Bollino & Padrón, 2016; Bollino & Costa, 2018).

Sin embargo, la mayor parte de los datos proviene de especímenes de colecciones públicas y privadas, almacenados en diferentes partes de Europa y América, tales como:

FLMNH: McGuire Center for Lepidoptera and Biodiversity, Gainesville, USA.

USNM: United States National Museum Smithsonian, Washington, USA.

MSGU: Colección de Mark Simon, Gainesville, USA.

BMNH: British Museum of Natural History, London, UK.

MBLI: Colección de Maurizio Bollino, Lecce, Italy.

MZUJ: Zoological Museum, Jagellonian University, Krakow, Poland.

PBPF: Colección de Pierre Boyer, Le Puy Ste. Réparate, France.

SMNS: Staatliches Museum für Naturkunde, Stuttgart, Germany.

ZMHB: Zoologisches Museum der Humboldt Universität, Berlin, Germany.

UNSM: Museo Universidad San Marcos, Lima, Perú.

INABIO: Instituto Nacional de Biodiversidad, Quito, Ecuador.

PUCE: Museo Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

Toda la información obtenida atravesó un proceso de curación de datos que incluía la proyección de cada registro y la comprobación de que el mismo se encuentre en localidades con características que pueden ser consideradas importantes para la distribución de estas mariposas, como ríos, bosques, etc. A partir de esto, se creó una base de datos que cuenta con un total de 1307 registros de mariposas del género *Catantix*, pertenecientes a 39 especies para el Ecuador. La base de datos almacena información sobre subespecies, provincias y localidades donde se colectó cada individuo, coordinadas geográficas y altitud.

### **Variables ambientales:**

Varios modelamientos previos fueron realizados antes de definir qué variables generaban los mapas con mejor soporte estadístico. Estos análisis se dividieron en tres tipos, según la cantidad y tipo de variables ambientales de Worldclim (<http://www.worldclim.org/>) utilizadas: 1) aquellas sugeridas por Beaumont et al., (2005): temperatura media anual, rango diurno promedio, temperatura máxima del período más cálido, temperatura mínima del período más frío, rango anual de temperatura, temperatura media del trimestre más cálido, temperatura media del trimestre más frío y precipitación anual; 2) aquellas obtenidas a partir de la comparación del porcentaje de importancia que realiza MaxEnt para cada una de las variables ambientales que participan en los modelamientos de todas las especies: temperatura máxima del mes más cálido, temperatura mínima del mes más frío, rango de temperatura anual, temperatura media del trimestre más cálido, precipitación del mes más seco, precipitación del trimestre más cálido y precipitación del trimestre más frío; y 3) todas las variables climáticas. Sin embargo, al analizar estos resultados, pudimos constatar que no existía una variabilidad estadística significativa ni tampoco se podía observar grandes variaciones en las proyecciones de los mapas.

Finalmente, se consultó el trabajo realizado por Ospina-López et al., (2010) donde se expone que la amplia distribución altitudinal de mariposas de la familia Pieridae se debe

a que en su mayoría son individuos con alta tolerancia a cambios en el ambiente (euriecas); es decir que se las puede encontrar desde sitios muy perturbados hasta áreas más o menos conservadas y ostentan complejos mecanismos de termorregulación. Así mismo, son organismos que requieren de la luz solar para su desarrollo y desempeño (heliófilas). De tal forma, para este trabajo preferimos seleccionar las diecinueve variables bioclimáticas (Tabla 1) dispuestas por WorldClim para conocer cuáles son las más relevantes para estas mariposas en el Ecuador. Esta información se agregó en diversas capas en formato digital obtenidas de la base de datos Worldclim, de los años 1950-2000, con una resolución de 2.5 minutos o  $\sim 10 \text{ km}^2$ , la cual ha sido ampliamente utilizada en otras investigaciones (Beaumont et al., 2005; Tognelli et al., 2009; Sandoval-Becerra et al., 2015; Cheng & Bonebrake, 2017; Wells & Tonkyn, 2018).

**Tabla 1.** Variables bioclimáticas utilizadas por los programas MaxEnt y DIVAGIS para generar los mapas de distribución de especies de mariposas del género *Catantixia*, presentes en el Ecuador, fuente: WorldClim, versión 1.3, octubre del 2004.

<b>Variable</b>	<b>Significado</b>
<b>Bio1</b>	Temperatura media anual
<b>Bio2</b>	Rango medio diario (media mensual ( $T^{\circ} \text{ max.} - T^{\circ} \text{ min}$ ))
<b>Bio3</b>	Isotermalidad
<b>Bio4</b>	Temperatura estacional (desviación estándar *100)
<b>Bio5</b>	Temperatura máxima del mes más cálido
<b>Bio6</b>	Temperatura mínima del mes más frío
<b>Bio7</b>	Rango de temperatura anual (B5-B6)
<b>Bio8</b>	Temperatura media del mes más húmedo
<b>Bio9</b>	Temperatura media del mes más seco
<b>Bio10</b>	Temperatura media del trimestre más cálido
<b>Bio11</b>	Temperatura media del trimestre más frío
<b>Bio12</b>	Precipitación anual
<b>Bio13</b>	Precipitación del mes más húmedo
<b>Bio14</b>	Precipitación del mes más seco
<b>Bio15</b>	Precipitación estacional (coeficiente de variación)
<b>Bio16</b>	Precipitación del trimestre más húmedo
<b>Bio17</b>	Precipitación del trimestre más seco
<b>Bio18</b>	Precipitación del trimestre más cálido
<b>Bio19</b>	Precipitación del trimestre más frío

### **Selección de especies:**

Los MDE se generaron a partir de tres algoritmos de modelamiento que funcionan adecuadamente con información únicamente de presencias. Para esto se realizó un filtro previo de los datos georreferenciados, proyectándolos en Google Earth y utilizando sus herramientas de medida para determinar cuántos metros separaban a cada punto georreferenciado entre ellos. Se consideró una distancia mínima de un kilómetro (de longitud) entre los registros para ser considerados puntos independientes (Svancara et

al., 2019). Si varios puntos georreferenciados se encontraban en el mismo rango de un kilómetro de distancia, todos serían considerados como una sola localidad y, por ende, un solo punto de georreferenciación. Esto se realizó para cada especie de manera independiente.

Después de este proceso, solo 30 especies, de un total de 39, fueron seleccionadas para los análisis (Tabla 2). Además, estas fueron clasificadas según la cantidad de registros que poseían, en tres tamaños de muestra alto con más de 50 localidades registradas para las especies; medio, entre 11 y 50 localidades registradas para las especies; y bajo, menos de 11 localidades registradas para las especies.

**Tabla 2.** Clasificación de especies según el número de registros que poseen y el número de localidades en las que fueron colectadas.

<b>Especie</b>	<b>Registros</b>	<b>Localidades</b>
<i>C. pharnakia</i>	1	1
<i>C. rosea</i>	3	2
<i>C. cinerea</i>	6	6
<i>C. socorrensis</i>	6	6
<i>C. truncata</i>	7	6
<i>C. tricolor</i>	10	8
<i>C. albofasciata</i>	11	9
<i>C. discalba</i>	13	9
<i>C. sella</i>	11	9
<i>C. thomasorum</i>	17	11
<i>C. radiata</i>	15	12
<i>C. striata</i>	16	12
<i>C. tamsa</i>	13	12
<i>C. hegemon</i>	16	15
<i>C. poujadei</i>	18	15
<i>C. vulnerata</i>	22	18
<i>C. leucophaea</i>	21	20
<i>C. corcyra</i>	28	22
<i>C. nimbata</i>	31	28
<i>C. eurigania</i>	32	29
<i>C. scurra</i>	37	30
<i>C. frontina</i>	38	31
<i>C. teutamis</i>	38	34
<i>C. semiramis</i>	39	34
<i>C. prioneris</i>	43	38
<i>C. philone</i>	63	39
<i>C. tomyris</i>	50	43
<i>C. incerta</i>	49	45
<i>C. sisamnus</i>	54	48
<i>C. philodora</i>	64	48

<i>C. ctemene</i>	64	51
<i>C. flisa</i>	70	59
<i>C. reducta</i>	74	62
<i>C. anaitis</i>	88	63
<i>C. susiana</i>	131	92

### **Modelamiento:**

Para generar los MDE se seleccionaron los programas MaxEnt (Phillips et al., 2006), BIOCLIM (Nix, 1986) y DOMAIN (Carpenter et al., 1993). Estos son métodos ampliamente aplicados y utilizan datos geográficos representados solo por la presencia de especies, así como un conjunto de coberturas geográficas que corresponden a las variables ambientales capaces de limitar la supervivencia de los individuos y porque se desempeñan relativamente bien en relación a otros métodos (Naoki et al., 2006; Romo et al., 2006; García-Mateo, 2008; Algar et al., 2009; Acosta & Guerrero, 2011; González-Irusta et al., 2015; Rujano et al., 2015; Jiménez-García & Campos-Figueroa, 2016).

El programa DIVA-GIS versión 7.5 (<https://www.diva-gis.org/>), fue empleado para realizar mapas usando tanto el modelamiento BIOCLIM y DOMAIN. Dicho programa genera un intervalo ecológico de acuerdo a variables predictivas, mediante un análisis de la distribución de los registros de presencia sobre cada variable ambiental (Palacios et al., 2016, Montoya, 2017; Soberón, 2017). Para estos modelamientos se utilizaron los datos de salida clásicos y los Factores BIOCLIM o DOMAIN (respectivamente) más limitantes para definir la distribución potencial, las diecinueve variables climáticas, con el percentil del 25% y con un número de réplicas de 10. Para la elaboración de mapas con el modelamiento de máxima entropía, se utilizó el software MaxEnt versión 3.4.1 ([https://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/)), empleando una configuración similar a la aplicada en el programa DIVA-GIS. Por tanto, se usaron también las diecinueve variables climáticas de WorldClim, el percentil del 25% de los puntos de prueba en base a una muestra aleatoria, el parámetro multiplicador de regularización con el valor de la unidad, por defecto (Astudillo et al., 2016) y 10 réplicas fueron realizadas (Merow et al., 2013), seleccionando el programa, como modelo final, aquel con el mayor valor de entropía (Naveda-Rodríguez et al., 2016). Finalmente, no se generaron pseudoausencias en este trabajo, debido a que las comparaciones entre modelamientos deseaban efectuarse de la manera más uniforme posible, considerando únicamente la precisión de los modelos en base a información de presencias de todas las especies.

### **Evaluación de los modelos:**

Para poder evaluar los modelos de distribución de especies y comparar entre distintos métodos se realizan pruebas estadísticas que miden el desempeño y la consistencia del modelo en cuanto a su capacidad para discriminar entre los datos de entrada y datos independientes de contraste (Mateo et al., 2011; Castro, 2015). Varios estudios sugieren la validación frente a la verificación, aunque en algunos casos la validación puede

resultar imposible especialmente cuando hay pocos registros y más aún cuando se eliminan algunos de estos, resultando en un incremento artificial de la consistencia del modelo (Mateo et al., 2011). Existen varios métodos estadísticos para evaluar la calidad de los MDE entre ellos están: ROC (Receiver Operating Characteristics), AUC (Area Under the Curve o índice AUC por sus siglas en inglés), validación cruzada, bootstrapping, kappa de Cohen, análisis de correlación, etc; sin embargo, el método más empleado es el AUC o área bajo la curva ROC (Mateo et al., 2011; Jiménez-García & Campos-Figueroa, 2016).

La curva ROC (Receiver Operating Characteristic) es un gráfico de la tasa de sensibilidad (verdaderos positivos) frente a la tasa de especificidad (falsos positivos), calculando la capacidad discriminativa del modelo para diferentes puntos de corte posibles (Mateo et al., 2011). De este gráfico podemos destacar que: 1) cualquier aumento en la sensibilidad significa una disminución en la especificidad; 2) mientras más cerca está la curva del borde izquierdo superior del gráfico, existe mayor precisión y 3) mientras más cerca está la curva de la diagonal a 45°, existe menor precisión (Fawcett, 2006). Es decir, si el modelo realiza una predicción muy buena de la distribución de una especie, se generará una curva ROC que se desplace por el eje izquierdo del gráfico, hasta la parte más alta, dentro de la fracción de los verdaderos positivos. Mientras tanto, si la predicción del modelo no es mejor que una distribución de las especies al azar, se generará una curva ROC que se desplace próxima a la línea diagonal, siendo cercana a la fracción de los falsos positivos (Tape, 2001). Por otro lado, el AUC es el valor estadístico que deriva del método ROC y representa una medida que representa qué tan precisos son los modelos obtenidos (Mateo et al., 2011).

En este estudio, los modelos fueron evaluados mediante la curva ROC y el valor de AUC (Rujano et al., 2015). Para evaluar el desempeño de este último, Swets (1988), establece una escala a seguir que nos permite determinar la capacidad discriminatoria de los modelos, como podemos observar en la Tabla 3 (Acosta & Guerrero, 2011; Jiménez-García & Campos-Figueroa, 2016). De este modo, son los valores mayores a 0.7 los que se ajustan mejor a la realidad e indican mayor precisión al determinar dónde está distribuida una especie (Obregón et al., 2014).

**Tabla 3.** Clasificación de los valores de la curva AUC

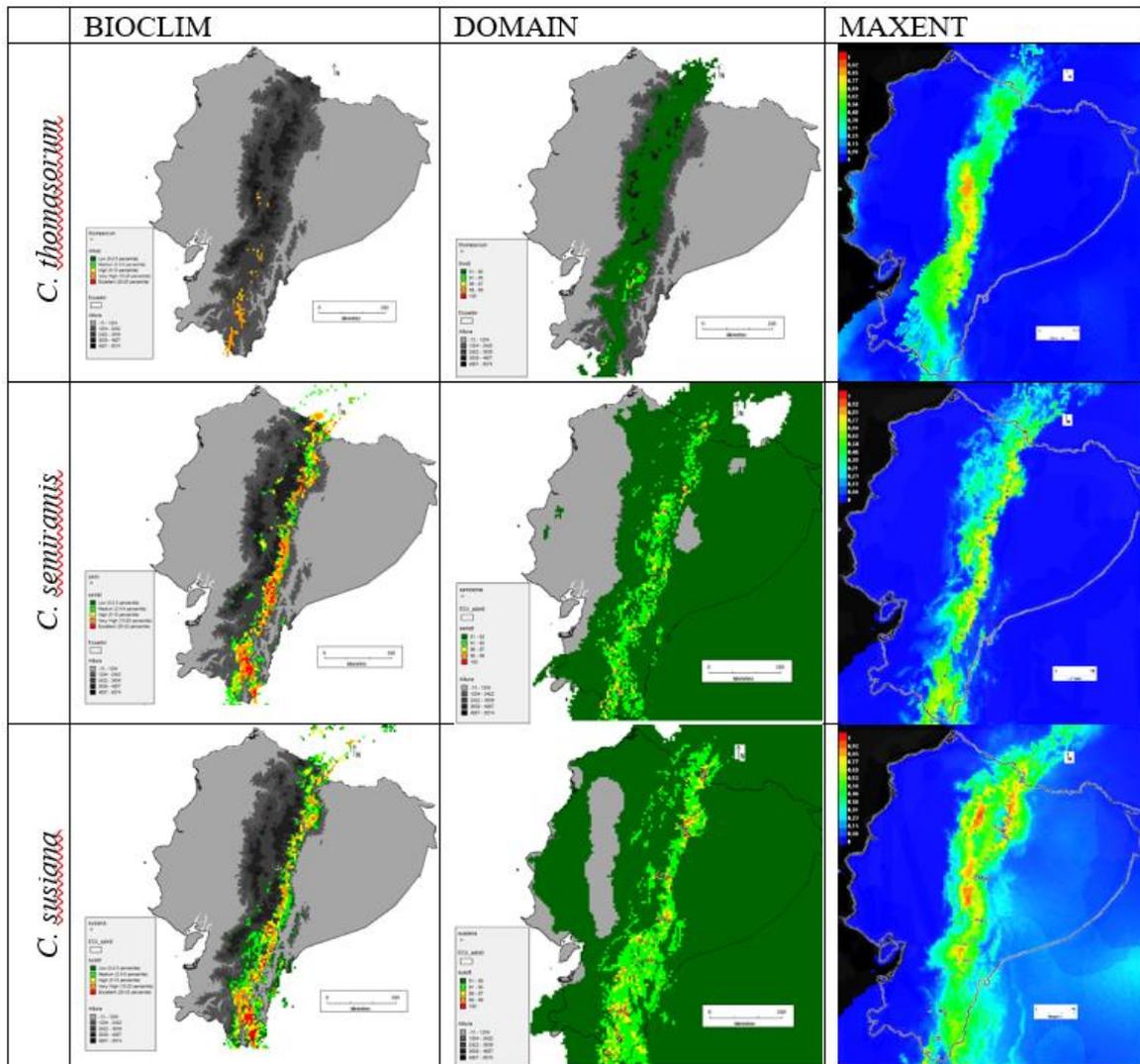
Valores AUC	Interpretación
0.5 - 0.6	No adecuada
0.6 - 0.7	Mala
0.7 - 0.8	Aceptable
0.8 - 0.9	Bueno
0.9 - 1.0	Excelente

## CAPÍTULO II

### RESULTADOS

#### Mapas MDE

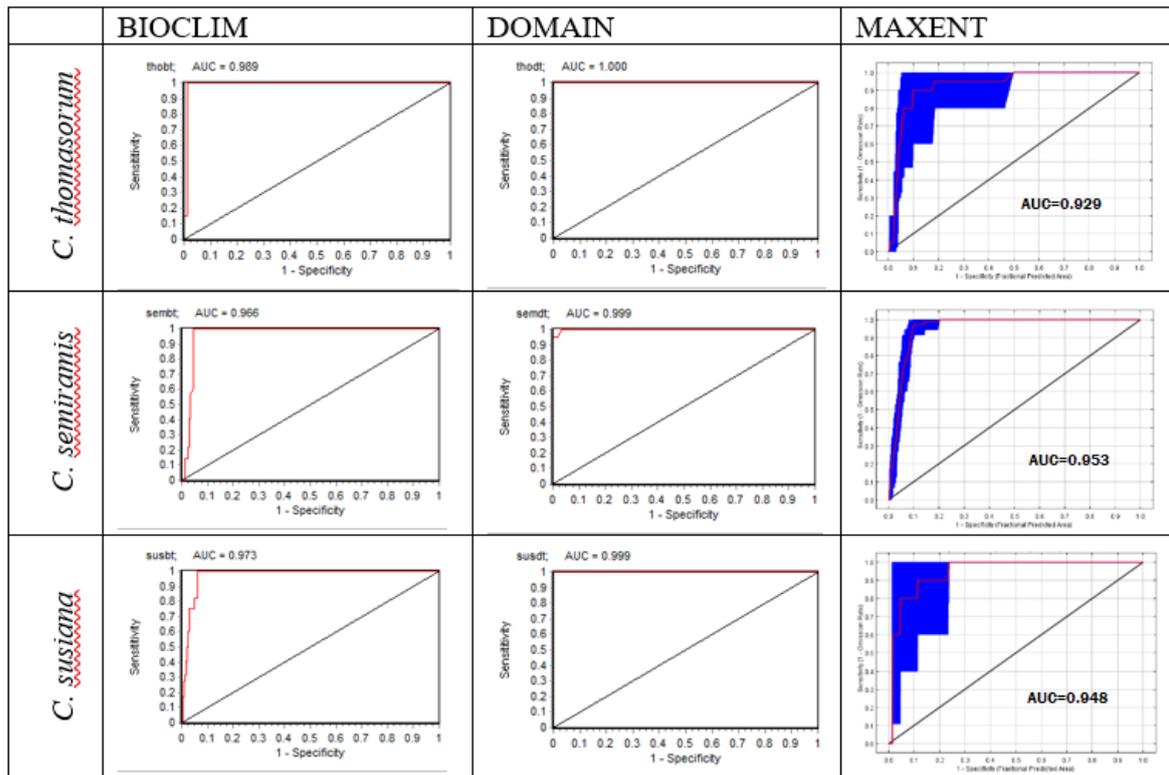
Los mapas obtenidos de los tres modelos de distribución potencial del género *Catasticta* se elaboraron para 30 especies (Anexo 1). A continuación, se puede ver una muestra de los mapas generados (Fig. 1), para tres especies clasificadas según la cantidad de registros (bajo, medio y alto).



**Figura 1.** Mapas de distribución potencial elaborados con BIOCLIM, DOMAIN y MaxEnt para tres especies, A) *C. thomasorum* 11 localidades, siendo la especie con menor cantidad de localidades. B) *C. semiramis* con 36 localidades y C) *C. susiana* con 117 localidades.

### Valores del análisis Área Bajo la Curva:

Los resultados del análisis AUC realizados para los tres métodos predictivos (Figura 2, Tabla 4), de las 30 especies seleccionadas presentan valores que oscilan entre  $AUC > 0.9$  y  $AUC=1$  en los tres métodos utilizados. En general, esto indica que todos los modelos representan una excelente capacidad de predicción, solo para una especie *C. hegemon* el modelamiento obtenido por MaxEnt, genera el valor de  $AUC=0.839$  lo cual se considera como una buena capacidad de predicción por parte del modelo. Los demás valores de AUC pueden encontrarse en el Anexo 2.



**Figura 2.** Curva de los valores AUC correspondientes a los modelamientos elaborados con BIOCLIM, DOMAIN y MaxEnt para tres especies A) *C. thomasorum*, B) *C. semiramis* y C) *C. susiana*.

**Tabla 4.** Valores del análisis de la curva AUC de los modelos de predicción para cada especie.

Especie	Curva AUC		
	BIOCLIM	DOMAIN	MAXENT
<i>C. anaitis</i>	0.975	0.999	0.974
<i>C. apaturina</i>	0.976	1.000	0.976
<i>C. corcyra</i>	0.996	1.000	0.970
<i>C. ctemene</i>	0.983	1.000	0.974
<i>C. eurigania</i>	0.991	1.000	0.988
<i>C. ferra</i>	0.971	1.000	0.958
<i>C. flisa</i>	0.956	0.997	0.947
<i>C. frontina</i>	0.993	1.000	0.982
<i>C. hegemon</i>	0.987	0.997	0.839
<i>C. incerta</i>	0.986	1.000	0.965
<i>C. leucophaea</i>	0.997	0.997	0.962
<i>C. ludovici</i>	0.984	1.000	0.963
<i>C. nimbata</i>	0.983	1.000	0.975
<i>C. philodora</i>	0.994	0.997	0.970
<i>C. philone</i>	0.987	1.000	0.981
<i>C. poujadei</i>	0.981	1.000	0.928
<i>C. prioneris</i>	0.966	0.998	0.968
<i>C. radiata</i>	0.991	0.994	0.941
<i>C. reducta</i>	0.981	0.999	0.975
<i>C. scurra</i>	0.965	0.990	0.974
<i>C. seitzii</i>	0.991	1.000	0.975
<i>C. semiramis</i>	0.966	0.999	0.953
<i>C. sisamnus</i>	0.940	0.999	0.956
<i>C. striata</i>	1.000	1.000	0.952
<i>C. susiana</i>	0.973	0.999	0.948
<i>C. tamsa</i>	1.000	1.000	0.933
<i>C. teutamis</i>	0.951	1.000	0.962
<i>C. thomasorum</i>	0.989	1.000	0.929
<i>C. tomyris</i>	0.980	0.997	0.975
<i>C. vulnerata</i>	1.000	1.000	0.964

## CAPÍTULO III

### DISCUSIONES

Nuestros resultados indican que en general todas las predicciones de distribución potencial para las especies del género *Catantixia*, realizadas por los tres modelos, son estadísticamente significativas. Los valores de AUC de la mayoría de los modelamientos se encuentran sobre el valor 0.9, lo que indica que la idoneidad del hábitat para las especies de mariposas está determinada adecuadamente por las variables ambientales seleccionadas y que cada uno de los modelos posee una buena capacidad de predicción (Rujano et al., 2015).

Wisniewski et al (2008), en un trabajo similar, encontraron que MaxEnt fue el mejor método predictivo, sin importar el tamaño de muestra con la que se trabajó. Por otro lado, DOMAIN mantuvo un valor promedio de AUC de 0.65, indistintamente del tamaño de muestra usado. Finalmente, BIOCLIM exhibió los valores de AUC más bajos para todas las especies y sus respectivos tamaños de muestra. A pesar de que BIOCLIM y DOMAIN son teóricamente modelamientos menos certeros según la literatura consultada (Elith et al., 2006; Benito & Peñas, 2007; Romo et al., 2013; Rujano et al., 2015; Sabattini et al., 2017), en nuestro trabajo los resultados del AUC demuestran claramente la similitud estadística que poseen los tres métodos (ver tabla 4).

Aunque los resultados de los tres métodos predictivos son estadísticamente similares, estos parecen sobreestimar el área de distribución de las especies y generar valores AUC casi perfectos; lo que nos indica que la información obtenida podría ser cuestionable. Como los modelamientos generalmente no toman en cuenta otros factores que pueden influir en los resultados, más allá de los climáticos (Elith & Leathwick, 2009), consideramos que esta sobrestimación y significancia estadística pueden deberse a múltiples razones que discutiremos a continuación.

Primero, sobre las capas de información con la que se trabajó y los puntos georreferenciados; los modelos de distribución más realistas dependen no solo de estudiar la ecología de las especies sino también de la cantidad y calidad de los datos disponibles (Varela et al., 2014). Por lo tanto, pensamos que la poca cantidad de datos y la cercanía entre estos, pudo haber afectado en nuestros resultados. En general, se sabe que es importante contar con una base de datos con un mínimo de 40 a 50 registros para cada especie (Palma-Ordaz & Delgadillo-Rodríguez, 2014). No obstante, pocas de las especies aquí estudiadas cumplen con dichas condiciones (tabla 2); además, existen sesgos en el muestreo, puesto que varios datos se concentran en zonas cercanas a bosques alrededor de los pueblos, a orillas de ríos o en carreteras, lo cual evidencia muestreo insuficiente en muchos lugares del Ecuador. Estos factores pueden haber limitado la resolución de nuestros modelamientos.

También, aunque se debe considerar que los MDE con datos de solo presencia son de gran utilidad, algunos autores proponen que es mejor usar datos de presencia-ausencia o abundancia, ya que esta información cubre una mayor cobertura de zonas (permitiendo

análisis de sesgos) y prevalencia (Elith & Leathwick, 2009). Sin embargo, otros indican que los datos de ausencia pueden ser engañosos debido a que la especie o el ambiente no está en equilibrio (por ejemplo, migraciones, cambio climático) o la especie no es detectada fácilmente (Elith & Leathwick, 2009, Lobo & Hortal, 2003). Al no contar con datos de ausencia, los modelamientos solo pueden mostrarnos la idoneidad del hábitat que es modelado, mas no la probabilidad de presencia de las especies en el territorio (Tinoco et al., 2009).

Respecto a la información climática, aunque existen diversas variables ambientales disponibles para realizar MDE, es importante escoger las variables que más contribuyan y no necesariamente guiarse por su disponibilidad y creer que el modelo podrá identificar las más importantes (Elith & Leathwick, 2009). Para los insectos, Beaumont et al., (2005) sugieren que el tamaño de las distribuciones predichas se correlaciona negativamente con el número de variables ambientales incorporadas en el modelo. Es decir, mientras más variables son agregadas, los modelos de distribución potencial se vuelven más estrechos y menos certeros. Se conoce que otros estudios también han trabajado con variables ambientales específicas que son consideradas factores limitantes del desarrollo y crecimiento de mariposas (Luoto & Heikkinen, 2008; Oliver et al., 2012), que afectan su distribución y fisiología (Araújo & Luoto, 2007), o influyen en la vegetación y determinan la calidad y cantidad del alimento disponible para la mariposas (Garcia-Pereira et al., 2003; Oberhauser & Peterson, 2003; Beaumont et al., 2005; Romo et al., 2006; Buermann et al., 2008; Algar et al., 2009; Eskildsen et al., 2013, Azor-Hernández & Barro-Cañamero, 2014; Obregón et al., 2014); siendo estas variables similares o iguales a las sugeridas por Beaumont et al (2005). Siguiendo estas consideraciones, sería de gran importancia obtener información climática específica del Ecuador o las diversas regiones en las que está distribuido el género *Catantix*, con el afán de emplear estas variables ambientales y determinar su efecto en la distribución de estos insectos.

Austin y Smith (1989), identifican que los gradientes indirectos o predictores distales, como la elevación, raramente pueden influir sobre la distribución de especies, y más bien los directos o proximales, como temperatura o precipitación, son más relevantes debido a la correlación con su distribución; sin embargo, se debe tener en cuenta que estas variables cambian de relevancia según el grupo biológico estudiado (Elith & Leathwick, 2009). Del mismo modo, la abundancia de mariposas de la familia Pieridae está determinada por la presencia de una mayor gama de unidades paisajísticas, heterogeneidad espacial y el período climático (Ospina-López et al., 2010). No obstante, se sabe que estos individuos son más tolerantes a cambios y su actividad se ve favorecida por ciertas condiciones climáticas, como el aumento de la temperatura, es decir, épocas con días cálidos; las transiciones de estaciones (época de sequía) y la disminución tanto de temporada de lluvias, días nublados y velocidad del viento (Ospina-López et al., 2010; Kuussaari et al., 2016). Con estas referencias, pretendemos evidenciar la importancia de analizar previamente la información climática y realizar una selección minuciosa de las variables que deben ocuparse en los modelamientos, según las especies en estudio.

Segundo, la biodiversidad existente en un área no solo depende de características abióticas relacionadas con la precipitación y temperatura, sino también de factores como la historia biogeográfica de la región y características físicas del terreno que determinan la presencia o ausencia de especies en áreas cuyas condiciones ambientales pueden ser potencialmente adecuadas para sostener la vida (Lobo & Hortal, 2003). Respecto a las características del terreno, Cruz-Cárdenas et al., (2014) afirman que los modelos pueden ser mejorados incluyendo variables de tipos de suelo y topografía en general. Pero esos factores no son lo único importante cuando se trata de examinar el espacio geográfico. Se sabe que los mapas de distribución potencial reflejan todas las zonas idóneas en base a los análisis de información climática, pero no son capaces de separar y diferenciar estas áreas considerando las barreras geográficas existentes. Consecuentemente, cuando una especie se encuentra en el lado occidental de la cordillera de los Andes, pero existen condiciones climáticas similares en un área del lado oriental de la misma, los modelamientos consideran ambos espacios adecuados y los representan en el mapa; a pesar de que dicha especie solo pueda estar presente en una de las dos zonas, pues la otra es inaccesible al no poder desplazarse a través de esta barrera (Mateo et al., 2012). Del mismo modo, es imposible para los modelos tener en cuenta eventos geológicos o climáticos (a veces, antropogénicos) que sucedieron en el pasado y repercutieron en la distribución actual de las especies que conocemos (Svenning & Skov, 2006, Lobo & Hortal, 2003); por lo que, considerar estas variables es fundamental al momento de interpretar mapas de distribuciones potenciales.

Tercero, la presencia-ausencia de fauna o flora responde también a factores como interacciones intra o inter específicas; la competencia entre especies puede evitar que una de ellas se distribuya a lo largo de toda el área potencial (Mateo et al., 2012). En el caso de los insectos, se sabe que no poseen distribuciones espaciales muy amplias y que están restringidas por diversas condiciones (Tognelli et al., 2009). Para los lepidópteros diurnos, la vegetación es un factor limitante de su demografía (mortalidad y natalidad), puesto que tanto los estados inmaduros de las mariposas como la mayoría de los adultos son fitófagos y nectarívoros respectivamente, y en muchos de los casos son altamente específicas (Thomas, 1989; Gorla, 2002; Garcia-Pereira et al., 2003; Garcia-Pereira et al., 2003), manteniendo una fuerte relación con las plantas hospederas necesarias para cumplir su ciclo de vida y por ende, aunque estos insectos pueden volar, ven limitada su capacidad de dispersión en el espacio debido a la vegetación (Thomas, 1989). En este caso, las lorantáceas son aquellas plantas de las que se alimenta el género *Catantix* en su estado larvario. Por lo que, si consideramos que la distribución de las mariposas depende de la presencia de sus plantas hospederas, y si sabemos que las lorantáceas son especies hemiparásitas aéreas, de distribución no tan amplia, podemos deducir que la distribución de *Catantix* está fuertemente limitada por estas condiciones (Braby & Nishida, 2010). Otro ejemplo para resaltar la importancia de las interacciones entre especies, está en el trabajo de Curtis et al., (2015), quienes encontraron que existe una relación directamente proporcional entre la densidad poblacional de mariposas y la abundancia de sus plantas hospederas. Del mismo modo, la relación entre la abundancia de néctar en las flores y la abundancia de mariposas es directa. Por último, este estudio

también determinó que la supervivencia de los lepidópteros está condicionada por la adquisición de nutrientes durante su etapa larval de desarrollo, puesto que son las larvas, antes que los adultos, aquellas que determinan los requerimientos de hábitat para la mayoría de insectos (Thomas et al., 1992).

El cuarto punto relevante a tomar en cuenta es el patrón de dispersión y su vagilidad, lo cual determinara si una especie se puede desplazar de un sitio a otro, algo que depende en gran medida de la calidad del hábitat, la abundancia y tamaño de población de la especie, las cuales están condicionadas por las características medioambientales, la variabilidad de los microhábitats o por los depredadores. Por ende, es inevitable el desalojo y/o reemplazo de especies por otras más adaptadas (Ospina-López et al., 2010; Montero & Ortiz, 2013; Kuussaari et al., 2016). Gutiérrez et al., (2004) explican que cuando existe la posibilidad de seguir el movimiento preciso que realiza un individuo, se puede hacer una idea significativa de la orientación hacia los parches de hábitat adecuado; sin embargo, como ya fue mencionado, también están restringidos por la presencia de otras especies.

Finalmente, en situaciones más puntuales, la distribución potencial de una especie podría estar relacionada a la presencia antropogénica. Esto conlleva analizar múltiples factores de carácter antrópico, como el uso que se le da a los suelos (ganadería, agricultura) y su intensidad, la expansión de zonas urbanas, de qué manera afectan los incendios forestales intencionados (Obregón et al., 2014), estos podrían afectar la presencia de organismos y por ende pueden haber influenciado en los registros de las especies, lo cual eliminaría información de áreas que tienen características ambientales adecuadas para la presencia de estas mariposas pero, al no estar incorporadas en los registros son excluidas de los análisis.

Otro resultado a destacar es que las predicciones realizadas en los programas DIVA-GIS y MaxEnt utilizando los registros de las mariposas del género *Catantixia* y las diecinueve variables climáticas, muestran ciertos patrones biogeográficos, como la mayor probabilidad de presencia en la parte sur oriental del país. Esto puede deberse a que es una zona de difícil acceso por su vegetación tupida, las condiciones climáticas favorables para el desarrollo de dichos individuos y un menor grado de disturbio por actividades humanas, dando a entender que estos espacios son las más adecuados para su adaptación y supervivencia. Sin embargo, los mapas reflejan básicamente el esfuerzo de colecta y no la distribución real de la riqueza de especies y frecuencia de aparición, esto imposibilita obtener una imagen fiel de las condiciones ambientales sobre las que pueden vivir las especies, especialmente en grupos con una alta diversidad como son los invertebrados (Lobo & Hortal, 2003). Entonces, los resultados de las predicciones más bien muestran la frecuencia de los puntos utilizados en el proceso de construcción del modelo, y son altamente dependientes de la naturaleza y estructura de los datos de partida (Lobo & Hortal, 2003; Varela et al., 2014). Dependiendo de la especie de mariposa del género *Catantixia*, se puede notar la distribución desigual de la densidad de los puntos con los que se suelen reflejar los registros o localidades.

Para concluir, los MDE no son tan ampliamente usados en los invertebrados; a pesar de que este grupo albergue la mayor cantidad de especies en el mundo (Tognelli et al., 2009). Es por esto que consideramos que este tipo de estudios nos permite evidenciar un área de investigación que aún no ha sido explorada en su totalidad, y que es muy necesaria en la actualidad, especialmente para ser considerada en estrategias de conservación de especies, sobre todo para enfrentar los efectos del cambio global que seguro están afectando a los insectos.

## BIBLIOGRAFÍA

Abadjiev, S. (2006). Types of neotropical pierinae in the collection of department of entomology, Natural History Museum, London (Lepidoptera: Pieridae). *Zootaxa*, (1143), pp.1-218.

Acosta, L., & Guerrero, E. (2011). Geographical distribution of *Discoocyrtus prospicius* (Arachnida: Opiliones: Gonyleptidae): Is there a pattern. *Zootaxa*, 3043(1), pp.1-24.

Algar, A., Kharouba, H., Young, E., & Kerr, J. (2009). Predicting the future of species diversity: macroecological theory, climate change, and direct tests of alternative forecasting methods. *Ecography*, 32(1), pp.22-33.

Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43(6), pp.1223-1232.

Andrade, M. (2002). Biodiversidad de las mariposas (Lepidoptera: Rhopalocera) de Colombia. *Monografías Tercer Milenio*, 2, pp.153-172.

Andrade, M., Bañol, E., & Triviño, P. (2013). Técnicas y procesamiento para la recolección, preservación y montaje de mariposas en estudios de biodiversidad y conservación. (Lepidoptera: Hesperioidea–Papilionoidea). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 37(144), pp.311-325.

Anderson, R. (2017). When and how should biotic interactions be considered in models of species niches and distributions? *Journal of Biogeography*, 44(1), pp.8-17.

Araújo, M., & Luoto, M. (2007). The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 16(6), pp.743-753.

Arreola, R. (2013). Distribución potencial de *Scolytus mundus* Wood y su comportamiento bajo escenarios de cambio climático en la reserva de la biósfera mariposa monarca (Disertación doctoral, Tesis de pregrado. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Biología. México).

Ashoori, A., Kafash, A., Varasteh, H., Yousefi, M., Kamyab, H., Behdarvand, N., & Mohammadi, S. (2018). Habitat modeling of the common pheasant *Phasianus colchicus* (Galliformes: Phasianidae) in a highly modified landscape: application of species distribution models in the study of a poorly documented bird in Iran. *The European Zoological Journal*, 85(1), pp.372-380.

Astudillo, P. X., Siddons, D. C., Barros-Quito, S., Orellana, J. A., & Latta, S. C. (2016). La distribución potencial del Cóndor Andino (*Vultur Gryphus*) revela sitios prioritarios para la conservación en los Andes sur de Ecuador. *El hornero*, 31(2), pp.85-95.

- Atauchi, P., Peterson, A., & Flanagan, J. (2018). Species distribution models for Peruvian plantcutter improve with consideration of biotic interactions. *Journal of Avian Biology*, 49(3), pp.1-8.
- Azor-Hernández, L., & Barro-Cañamero, A. (2014). Modelación de la distribución potencial de mariposas endémicas cubanas (Lepidoptera: Papilionoidea). *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 3(3), pp.18–30.
- Beaumont, L., Hughes, L., & Poulsen, M. (2005). Predicting species distributions: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species' current and future distributions. *Ecological Modelling*, 186(2), pp.251-270.
- Beaumont, L., Pitman, A., Poulsen, M., & Hughes, L. (2007). Where will species go? Incorporating new advances in climate modelling into projections of species distributions. *Global Change Biology*, 13(7), pp.1368-1385.
- Benito, B., & Peñas, J. (2007). Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (7), pp.100-119.
- Bollino, M. (2008). Two new species of *Catantixia* Butler, 1870 from Peru (Lepidoptera: Pieridae). *Genus*, 19(3), pp.355-360.
- Bollino, M., & Boyer, P. (2008). Revisional notes on the “*cinerea*” group of *Catantixia* Butler, 1870 (Lepidoptera: Pieridae). *Genus*, 19(3), pp.361-370.
- Bollino, M., Boyer, P., & Vitale, F. (2003). More notes on some *Catantixia* (Lepidoptera: Pieridae) females from Ecuador (South America). *Lambillionea*, 102(1), pp.82-84.
- Bollino, M., & Costa, M. (2007). An illustrated annotated check-list of the species of *Catantixia* (s.l.) Butler (Lepidoptera: Pieridae) of Venezuela. *Zootaxa*, 1469(1), pp.1-42.
- Bollino, M., & Costa, M. (2018). Una nueva subespecie de *Catantixia tricolor* Butler, 1897 de la Sierra de Perijá (frontera Venezuela-Colombia) y notas sobre la especie (Lepidoptera: Pieridae). *Tropical Lepidoptera Research*, 27(2), pp.101-105.
- Bollino, M., Greeney, H., & Vitale, F. (2002). On some hitherto unknown females of the genus *Catantixia* from Ecuador (South America). (Lepidoptera: Pieridae). *Lambillionea*, 102(3), pp.267-272.
- Bollino, M., & Padrón, P. S. (2016). Description of a new subspecies of *Catantixia fulva* Joicey & Rosenberg, 1915, with notes on several other species in the genus (Lepidoptera: Pieridae). *Tropical Lepidoptera Research*, 26(1).
- Bollino, M., & Rodríguez, G. (2003). Dos nuevas *Catantixia* (Lepidoptera: Pieridae) de Antioquia (Colombia Noroccidental, Suramérica). *Lambillionea*, 103(1), pp.135-140.

- Bollino, M., & Vitale, F. (2002). News on some Pieridae from Ecuador (South America). *Lambillionea*, 102(1), pp.82-84.
- Bollino, M., & Vitale, F. (2004). Notes on *Catasticta thomasorum* Jasinski and *Catasticta rosea* Joicey & Rosenberg from Ecuador (South America), with description of a new subspecies of *Catasticta thomasorum*. *Lambillionea*, 104(1), pp.81-85.
- Braby, M., & Nishida, K. (2010). The immature stages, larval food plants and biology of Neotropical mistletoe butterflies (Lepidoptera: Pieridae). II. The *Catasticta* group (Pierini: Aporiina). *Journal of Natural History*, 44(29-30), pp.1831-1928.
- Bond, N., Thomson, J., Reich, P., & Stein, J. (2011). Using species distribution models to infer potential climate change-induced range shifts of freshwater fish in south-eastern Australia. *Marine and Freshwater Research*, 62(9), pp.1043-1061.
- Buermann, W., Saatchi, S., Smith, T., Zutta, B., Chaves, J., Milá, B., & Graham, C. (2008). Predicting species distributions across the Amazonian and Andean regions using remote sensing data. *Journal of Biogeography*, 35(7), pp.1160-1176.
- Candelario-Mejía, G., Rodríguez-Rivas, A., Muñoz-Urias, A., Ibarra-Montoya, J., Chávez-Lopez, C., Mosso-González, C., & Ramírez-García, S. (2015). Estudio ecológico mixto en México de la distribución de *Aedes aegypti* implicaciones en las políticas públicas. *Revista Médica*, 7(1), pp.13-19.
- Carpenter, G., Gillison, A. N., & Winter, J. (1993). DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity & Conservation*, 2(6), pp.667-680.
- Cheng, W., & Bonebrake, T. C. (2017). Conservation effectiveness of protected areas for Hong Kong butterflies declines under climate change. *Journal of insect conservation*, 21(4), pp.599-606.
- Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J. L., López-Mata, L., Martínez-Meyer, E., & Ortiz, E. (2014). Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en Maxent. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 20(2), pp.187-201.
- Curtis, R. J., Brereton, T. M., Dennis, R. L., Carbone, C., & Isaac, N. J. (2015). Butterfly abundance is determined by food availability and is mediated by species traits. *Journal of Applied Ecology*, 52(6), pp.1676-1684.
- De La Vega, G., & Schilman, P. (2015). La importancia de la fisiología en la distribución geográfica de los insectos. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 74(3-4), pp.101-108.

Di Cola, V., Broennimann, O., Petitpierre, B., Breiner, F. T., D'amen, M., Randin, C., & Pellissier, L. (2017). ecospat: an R package to support spatial analyses and modeling of species niches and distributions. *Ecography*, 40(6), pp.774-787.

Diaz, J. M. C. (2010). Uso de los sistemas de información geográfica para el análisis de la biodiversidad. Aplicación al estudio de los macrolepidópteros en Angola (Disertación doctoral, Tesis de pregrado. Universidad de Extremadura).

Dyderski, M., Paż, S., Frelich, L., & Jagodziński, A. (2018). How much does climate change threaten European forest tree species distributions? *Global Change Biology*, 24(3), pp.1150-1163.

Eitschberger, U., & Racheli, T. (1998). *Catasticta* studies.III. Description of new species and subspecies of *Catasticta* (s.l.). *Neue ent.Nachrichten*, 41, pp.30-94.

Elith, J., Graham, C., Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R., Huettmann, F., Leathwick, J., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L., Loiselle, B., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. McC., Peterson, A., Phillips, S., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M., & Zimmermann, N. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), pp.129-151.

Elith, J. & Leathwick, J. R. (2009). Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40(1), pp.677-697.

Escalante, T., Rodríguez-Tapia, G., Linaje, M., Illoldi-Rangel, P., & González-López, R. (2013). Identification of areas of endemism from species distribution models: threshold selection and Nearctic mammals. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 16(1), pp.5-17.

Eskildsen, A., le Roux, P., Heikkinen, R., Høye, T., Kissling, W., Pöyry, J., & Luoto, M. (2013). Testing species distribution models across space and time: high latitude butterflies and recent warming. *Global Ecology and Biogeography*, 22(12), pp.1293-1303.

Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern recognition letters*, 27(8), pp.861-874.

Fleishman, E., Nally, R., & Fay, J. (2003). Validation tests of predictive models of butterfly occurrence based on environmental variables. *Conservation Biology*, 17(3), pp.806–817.

Fernández, D. C., Zambrano, G. G., & Gonzalez, V. H. (2010). Comportamiento de nidificación, notas taxonómicas y distribución potencial de *Paratrigona eutaeniata* (Hymenoptera: Apidae, Meliponini)/Nesting behavior, taxonomic notes and potential

distribution of *Paratrigona eutaeniata* (Hymenoptera: Apidae, Meliponini). *Revista Colombiana de Entomología*, 36(2), pp.325-332.

Fernández, P., Jordano, D., & Haeger, J. F. (2015). Living on the edge in species distribution models: the unexpected presence of three species of butterflies in a protected area in southern Spain. *Ecological modelling*, 312, pp.335-346.

Franklin, J. (2010a). Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge, Inglaterra. Cambridge University Press.

Franklin, J. (2010b). Moving beyond static species distribution models in support of conservation biogeography. *Diversity and Distributions*, 16(3), pp.321-330.

Fois, M., Bacchetta, G., Cuenca-Lombrana, A., Cogoni, D., Pinna, M., Sulis, E., & Fenu, G. (2018). Using extinctions in species distribution models to evaluate and predict threats: a contribution to plant conservation planning on the island of Sardinia. *Environmental Conservation*, 45(1), pp.11-19.

García-Mateo, M. (2008). *Modelos predictivos de riqueza de diversidad vegetal. Comparación y Optimización de Métodos de Modelado Ecológico*. (Disertación doctoral, Tesis de pregrado. Universidad Complutense de Madrid)

Garcia-Pereira, P., García-Barros, E., & Munguira, M. (2003). Patrones de distribución de las mariposas diurnas en Portugal (Lepidoptera, Papilionoidea, Hesperidae, Zygaenidae). *Graellsia*, 59(2-3), pp.259-271.

Gareca, Y., & Reichle, S. (2010). Riqueza y distribución ecorregional de Papilionidae y Pieridae (Lepidoptera) en Bolivia. *Kempffiana*, 6(2), pp.20-39.

Gastón, A., García-Viñas, J., Bravo-Fernández, A., López-Leiva, C., Oliet, J., Roig, S., & Serrada, R. (2014). Species distribution models applied to plant species selection in forest restoration: are model predictions comparable to expert opinion? *New Forests*, 45(5), pp.641-653.

Giannini, T., Chapman, D., Saraiva, A., Alves-dos-Santos, I., & Biesmeijer, J. (2013). Improving species distribution models using biotic interactions: a case study of parasites, pollinators and plants. *Ecography*, 36(6), pp.649-656.

Gogol-Prokurat, M. (2011). Predicting habitat suitability for rare plants at local spatial scales using a species distribution model. *Ecological Applications*, 21(1), pp.33-47.

Golding, N., August, T., Lucas, T., Gavaghan, D., van Loon, E., & McInerny, G. (2018). The zoon R package for reproducible and shareable species distribution modelling. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(2), pp.260-268.

González-Irusta, J., González-Porto, M., Sarralde, R., Arrese, B., Almón, B., & Martín-Sosa, P. (2015). Comparing species distribution models: a case study of four deep sea urchin species. *Hydrobiologia*, 745(1), pp.43-57.

Gorla, D. E. (2002). Variables ambientales registradas por sensores remotos como indicadores de la distribución geográfica de *Triatoma infestans* (Heteroptera: Reduviidae). *Ecología Austral*, 12(2), pp.117-127.

Guillera-Aroita, G. (2017). Modelling of species distributions, range dynamics and communities under imperfect detection: advances, challenges and opportunities. *Ecography*, 40(2), pp.281-295.

Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8(9), pp.993-1009.

Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. (2017). Habitat suitability and distribution models: with applications in R. Cambridge, Inglaterra. Cambridge University Press.

Guisande, C., García-Roselló, E., Heine, J., González-Dacosta, J., Vilas, L., Pérez, B., & Lobo, J. (2017). SPEDInstabR: An algorithm based on a fluctuation index for selecting predictors in species distribution modeling. *Ecological Informatics*, 37, pp.18-23.

Gutiérrez, D., Seymour, A., Fernández Rodríguez, P., Fernandez Haeger, J., Jordano Barbudo, D. (2004). Estructura espacial y dispersión en las poblaciones de mariposas: modelos y experimentos con *Plebejus argus* en Doñana. *Asociación Española de Ecología Terrestre*, pp.147-180.

Heit, G., Sione, W., Aceñolaza, P., Zamboni, L., Blanco, P., Horak, P., & Cortese, P. (2013). Modelo de distribución potencial de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae): Una herramienta de planificación para su detección temprana a nivel regional. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 13(2), pp.179-194.

Hijmans, R. (2017). *domain: Domain in dismo: Species Distribution Modeling*. Recuperado de: <https://rdr.io/cran/dismo/man/domain.html#heading-4>.

Hortal, J., Garcia-Pereira, P., & García-Barros, E. (2004). Butterfly species richness in mainland Portugal: predictive models of geographic distribution patterns. *Ecography*, 27(1), pp.68-82.

Hurtado, A. (2007). *Uso de modelos de predicción como herramienta para estimar el área de distribución potencial de la especie Aniba perutilis Hemsley (Comino Crespo) en el Departamento del Valle del Cauca*. Universidad del Cauca, Popayán.

Hurtado-Guerra, A. (2012). *Riqueza y patrones de distribución de mariposas (Papilionoidea) como base de planificación de la conservación de la biodiversidad en*

*el Complejo Ecorregional Chocó-Darién (Panamá, Colombia y Ecuador)*. Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela.

Jasinski, A. (1998). Description of a new species of *Catasticta* from Ecuador (Lepidoptera: Pieridae). *Genus*, 9(3), pp.399-404.

Jiménez-García, D., & Campos-Figueroa, M. (2016). Predicción de la disponibilidad ambiental de *Bulia schausi* (Lepidoptera: Noctuidae), una plaga potencial de brócoli en México. *Southwestern Entomologist*, 41(1), pp.163-170.

Jiménez-Valverde, A., Gómez, J., Lobo, J., Baselga, A., & Hortal, J. (2008). Challenging species distribution models: the case of *Maculinea nausithous* in the Iberian Peninsula. *Annales Zoologici Fennici*, 45(3), pp.200-210.

Kass, J., Vilela, B., Aiello-Lammens, M., Muscarella, R., Merow, C., & Anderson, R. (2018). Wallace: A flexible platform for reproducible modeling of species niches and distributions built for community expansion. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(4), pp.1151-1156.

Kharouba, H., Algar, A., & Kerr, J. (2009). Historically calibrated predictions of butterfly species' range shift using global change as a pseudo-experiment. *Ecology*, 90(8), pp.2213-2222.

Kuussaari, M., Rytteri, S., Heikkinen, R., Heliölä J. & Von Bagh, P. (2016). Weather explains high annual variation in butterfly dispersal. *Proceedings of the Royal Society*, 283(1835).

Lamas, G., & Bollino, M. (2004). Revisional notes on the 'amastris' group of *Catasticta* Butler, 1870 (Lepidoptera: Pieridae), with descriptions of new species and subspecies. *Zootaxa*, 605(1), pp.1-19.

Lobo, J. M., & Hortal, J. (2003). Modelos predictivos: un atajo para describir la distribución de diversidad biológica. *Revista Ecosistemas*, 12(1).

Luna, J. (2005). Técnicas de colecta y preservación de insectos. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 37, pp.385-408.

Luoto, M., & Heikkinen, R. (2008). Disregarding topographical heterogeneity biases species turnover assessments based on bioclimatic models. *Global Change Biology*, 14(3), pp.483-494.

Marini, M., Barbet-Massin, M., Lopes, L., & Jiguet, F. (2010). Predicting the occurrence of rare Brazilian birds with species distribution models. *Journal of Ornithology*, 151(4), pp.857-866.

Mateo, R., Felicísimo, A., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(2), pp.217-240.

- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2012). Modelos de distribución de especies y su potencialidad como recurso educativo interdisciplinar. *Reduca (Biología)*, 5(1), pp.137-153.
- Márquez, J. (2005). Técnicas de colecta y preservación de insectos. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 37, pp.385-408.
- McPherson, J., & Jetz, W. (2007). Effects of species' ecology on the accuracy of distribution models. *Ecography*, 30(1), pp.135-151.
- Mędrzycki, P., Jarzyna, I., Obidzi, A., Tokarska-guzik, B., Sotek, Z., Pabjanek, P., & Sachajdakiewicz, I. (2017). Simple yet effective: Historical proximity variables improve the species distribution models for invasive giant hogweed (*Heracleum mantegazzianum s.l.*) in Poland. *PLOS ONE*, 12(9), pp.1–22.
- Merow, C., Smith, M., & Silander, J. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36, pp.1058–1069.
- Montero, F. & Ortiz, M. (2013). Aporte al conocimiento para la conservación de las mariposas (Hesperioidea y Papilionoidea) en el páramo del Tablazo, Cundinamarca (Colombia). *Boletín Científico Museo de Historia Natural*. 17(2), pp.197-226.
- Montoya S. (2017). *BIOCLIM: Un Sistema de Análisis y Predicción de Bioclimas*. Recuperado de <http://gidahatari.com/ih-es/bioclim-un-sistema-de-analisis-y-prediccion-de-bioclimas>
- Moradi, S., Ilanloo, S., Kafash, A., & Yousefi, M. (2019). Identifying high-priority conservation areas for avian biodiversity using species distribution modeling. *Ecological Indicators*, 97, pp.159-164.
- Morales, S. (2012). Modelos de distribución de especies: Software MaxEnt y sus aplicaciones en Conservación. *Conservación Ambiental*, 2(1), pp.1–3.
- Morán-Ordóñez, A., Lahoz-Monfort, J., Elith, J., & Wintle, B. (2017). Evaluating 318 continental-scale species distribution models over a 60-year prediction horizon: what factors influence the reliability of predictions? *Global Ecology and Biogeography*, 26(3), pp.371-384.
- Naimi, B., & Araújo, M. (2016). SDM: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*, 39(4), pp.368-375.
- Naoki, K., Gómez, M., López, R., Meneses, R., & Vargas, J. (2006). Comparación de modelos de distribución de especies para predecir la distribución potencial de vida silvestre en Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 41(1), pp.65-78.

- Naveda-Rodríguez, A., Vargas, F. H., Kohn, S., & Zapata-Ríos, G. (2016). Andean condor (*Vultur gryphus*) in Ecuador: Geographic distribution, population size and extinction risk. *PloS one*, 11(3), pp.1-14.
- Nicolai C. (1995). Tassonomia del genere neotropicale *Catantix*. Sapienza Università di Roma, Roma, Italia.
- Nix, H., 1986. A biogeographic analysis of Australian Elapid snakes. *Snakes. Atlas of Elapid snakes of Australia*, 7, pp.4-15.
- Oberhauser, K., & Peterson, A. (2003). Modeling current and future potential wintering distributions of eastern North American monarch butterflies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(24), pp.14063-14068.
- Obregón, R., Arenas-Castro, S., Gil, F., Jordano, D., & Fernández-Haeger, J. (2014). Biología, ecología y modelo de distribución de las especies del género *Pseudophilotes* Beuret, 1958 en Andalucía (Sur de España) (Lepidoptera: Lycaenidae). *SHILAP Revista de Lepidopterología*, 42(168), pp.501-516.
- Oliver, T., Gillings, S., Girardello, M., Rapacciuolo, G., Brereton, T., Siriwardena, G., & Fuller, R. (2012). Population density but not stability can be predicted from species distribution models. *Journal of Applied Ecology*, 49(3), pp.581-590.
- Ospina-López, L., García-Pérez, J., Villa-Navarro, F., & Reinoso-Flórez, G. (2010). Mariposas PIERIDAE (LEPIDOPTERA: PAPILIONOIDEA) DE LA CUENCA DEL RÍO COELLO (TOLIMA), COLOMBIA. *Actual Biol*, 32(93), 173-188.
- Palacios, A., Rodríguez, R., Hernández, M., Jiménez, E., & Tirado, D. (2016). Distribución potencial de *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd) M. C. Johnston basada en un modelo de nicho ecológico. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 7(34), 35-46.
- Palma-Ordaz, S., & Delgadillo-Rodríguez, J. (2014). Distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor en el estado de Baja California, México. *Botanical Sciences*, 92(4), 587-597.
- Petit, J. (2006). *Inventario de las mariposas diurnas del Parque Nacional Sangay (Ecuador)*. Recuperado de: <http://www.sangay.eu/es/>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4), 231-259.
- Pyrz, T. (2004). Pronophilinae butterflies of the highlands of Chachapoyas in northern Peru: faunal survey, diversity and distribution patterns (Lepidoptera, Nymphalidae, Satyrinae). *Genus*, 15(4), pp.455-622.

Piñas, F. (2007). Mariposas del Ecuador. *Vol 10b. Familia Pieridae*. Quito, Ecuador: Compañía de Jesús.

Quintana, M., Salomón, O., Guerra, R., Lizarralde, M., & Fuenzalida, A. (2013). Phlebotominae of epidemiological importance in cutaneous Leishmaniasis in north western Argentina: risk maps and ecological niche models. *Medical and Veterinary Entomology* 27(1), pp.39–48.

Racheli, T. (1996). An annotated checklist of Ecuadorian Pieridae (Lepidoptera, Pieridae). *Atalanta*, 27(3/4), pp.545-580.

Radford, J., & Willmott, K. (2013). A distinctive new subspecies of *Catasticta poujadei* from the Cordillera del Cóndor in eastern Ecuador (Lepidoptera: Pieridae: Pierinae). *Tropical Lepidoptera Research*, 23(2), pp.86-91.

Raguso, R., & Gloster, O. (1993). Preliminary checklist and field observations of the butterflies of the Maquipucuna Field Station (Pichincha Province, Ecuador). *Journal of Research on the Lepidoptera*, 32(2), pp.135-161.

Reiss, H., Cunze, S., König, K., Neumann, H., & Kröncke, I. (2011). Species distribution modelling of marine benthos: a North Sea case study. *Marine Ecology Progress Series*, 442, pp.71-86.

Reissinger, E. (1972). Zur Taxonomie und Systematik der Gattung *Catasticta* Butler (Lepidoptera, Pieridae). *Entomologische Zeitschrift*, 82, pp.97-124.

Romo, H., García-Barros, E., & Munguira, M. (2006). Distribución potencial de trece especies de mariposas diurnas amenazadas o raras en el área ibero-balear (Lepidoptera: Papilionoidea & Hesperioidea). *Boletín de la Asociación Española de Entomología*, 30(3-4), pp.25-49.

Romo, H., Sanabria, P., & García-Barros, E. (2013). Predicción de los impactos del cambio climático en la distribución sobre las especies de Lepidoptera. El caso del género *Boloria* Moore, 1900 en la Península Ibérica (Lepidoptera: Nymphalidae). *SHILAP Revista de lepidopterología*, 41(162), pp.267-286.

Randinini, C., Di Marco, M., Chiozza, F., Santulli, G., Baisero, D., Visconti, P., & Amori, G. (2011). Global habitat suitability models of terrestrial mammals. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 366(1578), pp.2633-2641.

Rujano, M., Oraá, L., Rondón, Y., Sánchez, M., Rondón, M., Sánchez, Y., & Nieves, E. (2015). Modelo de la distribución de especies vectores de leishmaniasis del género *Lutzomyia* (Diptera: Psychodidae) en Mérida Venezuela. *Intropica*, 10, pp.37-51.

- Sabattini, J. A., Zerda, H. R., Sabattini, R. A., & Savino, C. (2017). Distribución geográfica potencial de *Atta vollenweideri* Forel en la provincia de Entre Ríos (Argentina). *Ambiência*, 13(1), 31-46.
- Sandoval-Becerra, F. M., Sánchez-Reyes, U. J., Niño-Maldonado, S., Vásquez-Bolaños, M., & Herrera-Herrera, J. R. (2015). Distribución potencial de *Helocassis* Spaeth, 1952 (Chrysomelidae: Cassidinae) en México. *Dugesiana*, 22(2), pp.121-131.
- Savino, C., Diodato, L., Gatto, M., & Zerda, H. (2013). Modelación espacial de especies, género *Dactylopius*, Región Parque Chaqueño Seco. *IV Jornadas Tucumán SIG*.
- Shaney, K., Wostl, E., Hamidy, A., Kurniawan, N., Harvey, M., & Smith, E. (2017). Conservation challenges regarding species status assessments in biogeographically complex regions: examples from overexploited reptiles of Indonesia. *Oryx*, 51(4), pp.627-638.
- Soberón J. (2017). *BIOCLIM en DIVA-GIS*. Recuperado de: <http://nicho.conabio.gob.mx/la-calibracion-del-modelo/para-los-impacientes>
- Sosa-Pivatto, M., Cosacov, A., Baranzelli, M., Iglesias, M., Espíndola, A., & Sérsic, A. (2017). Do 120,000 years of plant–pollinator interactions predict floral phenotype divergence in *Calceolaria polyrhiza*? A reconstruction using species distribution models. *Arthropod-Plant Interactions*, 11(3), pp.351-361.
- Svancara, L. K., Abatzoglou, J. T., & Waterbury, B. (2019). Modeling Current and Future Potential Distributions of Milkweeds and the Monarch Butterfly in Idaho. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, pp.168.
- Svenning, J. C., & Skov, S.N.F. (2006). Range filling in European trees. *Journal of Biogeography*, (33), pp.2018-2021.
- Swets, J. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), pp.1285-1293.
- Tape, T. G. (2001). Interpretation of diagnostic tests. *Annals of Internal Medicine*, 135(1), pp.72-72.
- Taylor, A., Papeş, M., & Long, J. (2018). Incorporating fragmentation and non-native species into distribution models to inform fluvial fish conservation. *Conservation Biology*, 32(1), pp.171-182.
- Tellez-Valdes, O., & Davila-Aranda, P. (2003) Protected areas and climate change: A case study of the cacti in the Tehuacan-Cuicatlan biosphere reserve, Mexico. *Conservation Biology*, 17(3), pp.846–853.

- Thomas, J. A. (1989). Conservation of butterflies in temperate countries: past efforts and lessons for the future. *In Symposia of the Royal Entomological Society of London*.
- Thomas, C.D., Thomas, J.A., Warren, M.S., (1992). Distribution of occupied and vacant butterfly habitats in fragmented landscapes. *Oecologia* 92, 563–567
- Tinoco, B. A., Astudillo, P. X., Latta, S. C., & Graham, C. H. (2009). Distribution, ecology and conservation of an endangered Andean hummingbird: the Violet-throated Metaltail (*Metallura baroni*). *Bird Conservation International*, 19(1), 63-76.
- Tognelli, M., Roig-Junent, S., Marvaldi, A., Flores, G., & Lobo, J. (2009). An evaluation of methods for modelling distribution of Patagonian insects. *Revista Chilena de Historia Natural*, 82(3), pp.347-360.
- Trotta-Moreu, N., Lobo, J. M., & Cabrero-Sañudo, F. J. (2008). Distribución conocida y potencial de las especies de Geotrupinae (Coleoptera: Scarabaeoidea) en México. *Acta zoológica mexicana*, 24(2), pp.39-65.
- Varela, S., Anderson, R., García-Valdés, R., & Fernández-González, F. (2014). Environmental filters reduce the effects of sampling bias and improve predictions of ecological niche models. *Ecography*, 37(11), 1-8
- Van der Putten, W., Macel, M., & Visser, M. (2010). Predicting species distribution and abundance responses to climate change: why it is essential to include biotic interactions across trophic levels. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 365(1549), pp.2025-2034.
- Van Proosdij, A., Sosef, M., Wieringa, J., & Raes, N. (2016). Minimum required number of specimen records to develop accurate species distribution models. *Ecography*, 39(6), pp.542-552.
- Vasconcelos, T., Rodríguez, M., & Hawkins, B. (2012). Species distribution modelling as a macroecological tool: a case study using New World amphibians. *Ecography*, 35(6), pp.539-548.
- Vaughan, I., & Ormerod, S. (2005). The continuing challenges of testing species distribution models. *Journal of Applied Ecology*, 42(4), 720-730.
- Wells, C., & Tonkyn, D. (2018). Changes in the geographic distribution of the Diana fritillary (*Speyeria diana*: Nymphalidae) under forecasted predictions of climate change. *Insects*, 9(3), 94.
- Willmott, K., & Hall, J. (2018). *Butterflies of Ecuador*. Recuperado de: [www.butterfliesofecuador.com/database.html](http://www.butterfliesofecuador.com/database.html)
- Wisz, M. S., Hijmans, R. J., Li, J., Peterson, A. T., Graham, C. H., Guisan, A., & NCEAS Predicting Species Distributions Working Group. (2008). Effects of sample

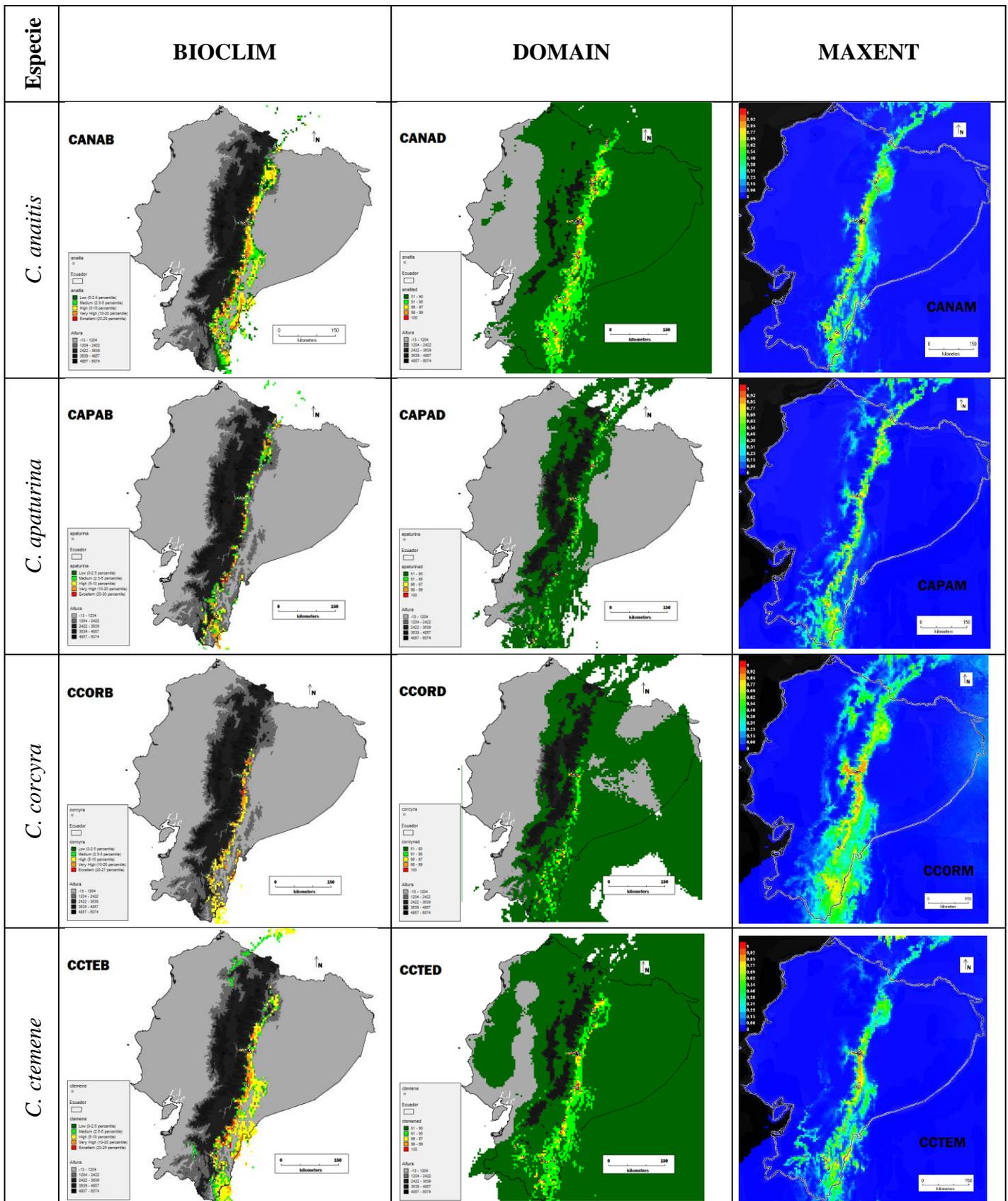
size on the performance of species distribution models. *Diversity and distributions*, 14(5), pp.763-773.

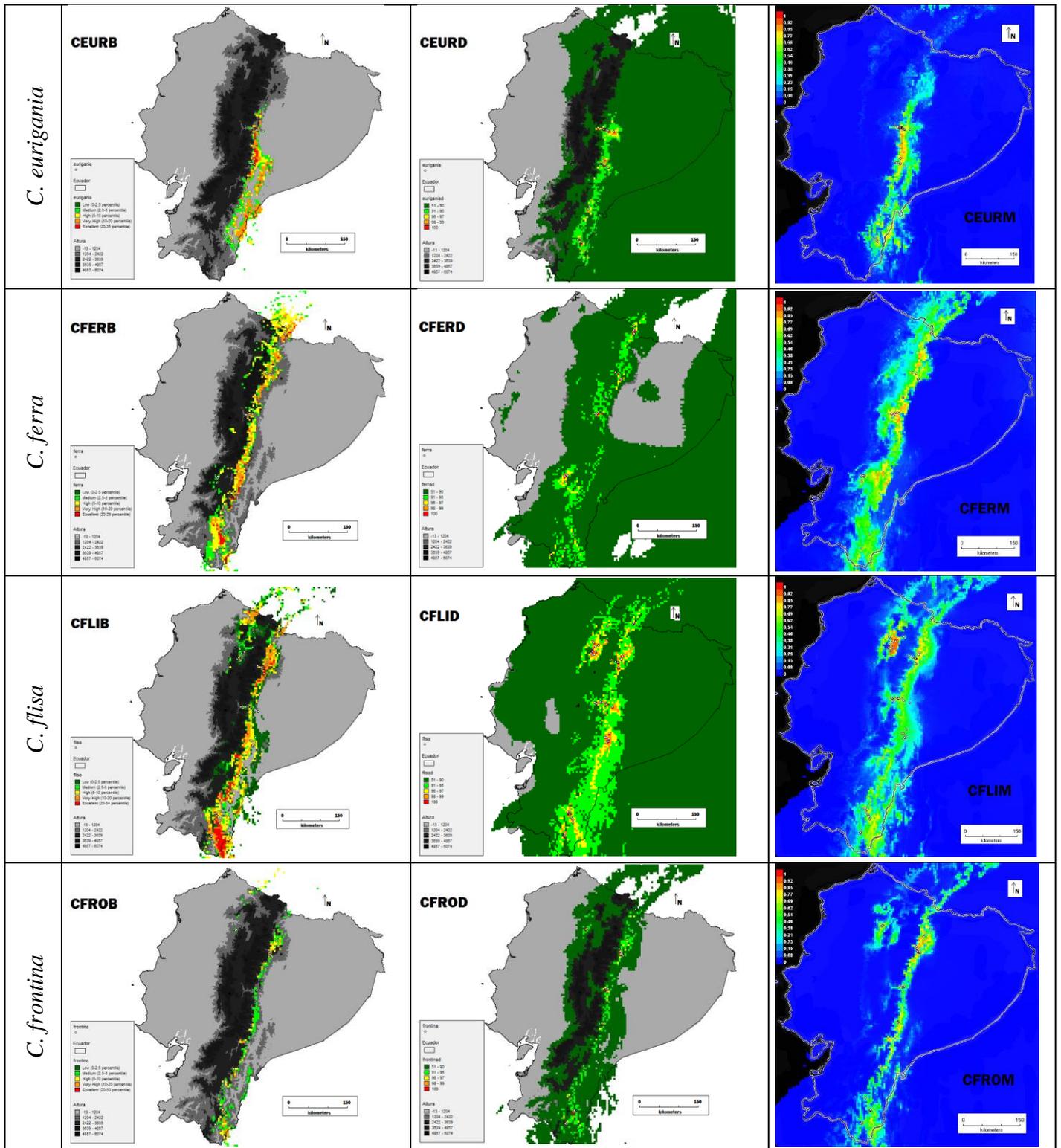
Wisz, M., Pottier, J., Kissling, W., Pellissier, L., Lenoir, J., Damgaard, C., Dormann, C., Heikkinen, R., Forchhammer, M., Grytnes, J., Guisan, A., Høye, T., Kühn, I., Luoto, M., Maiorano, L., Nilsson, M., Normand, S., Öckinger, E., Schmidt, N., Termansen, M., Timmermann, A., Wardle, A., Aastrup, P., & Svenning J. (2013). The role of biotic interactions in shaping distributions and realised assemblages of species: implications for species distribution modelling. *Biological Reviews*, 88(1), 15-30.

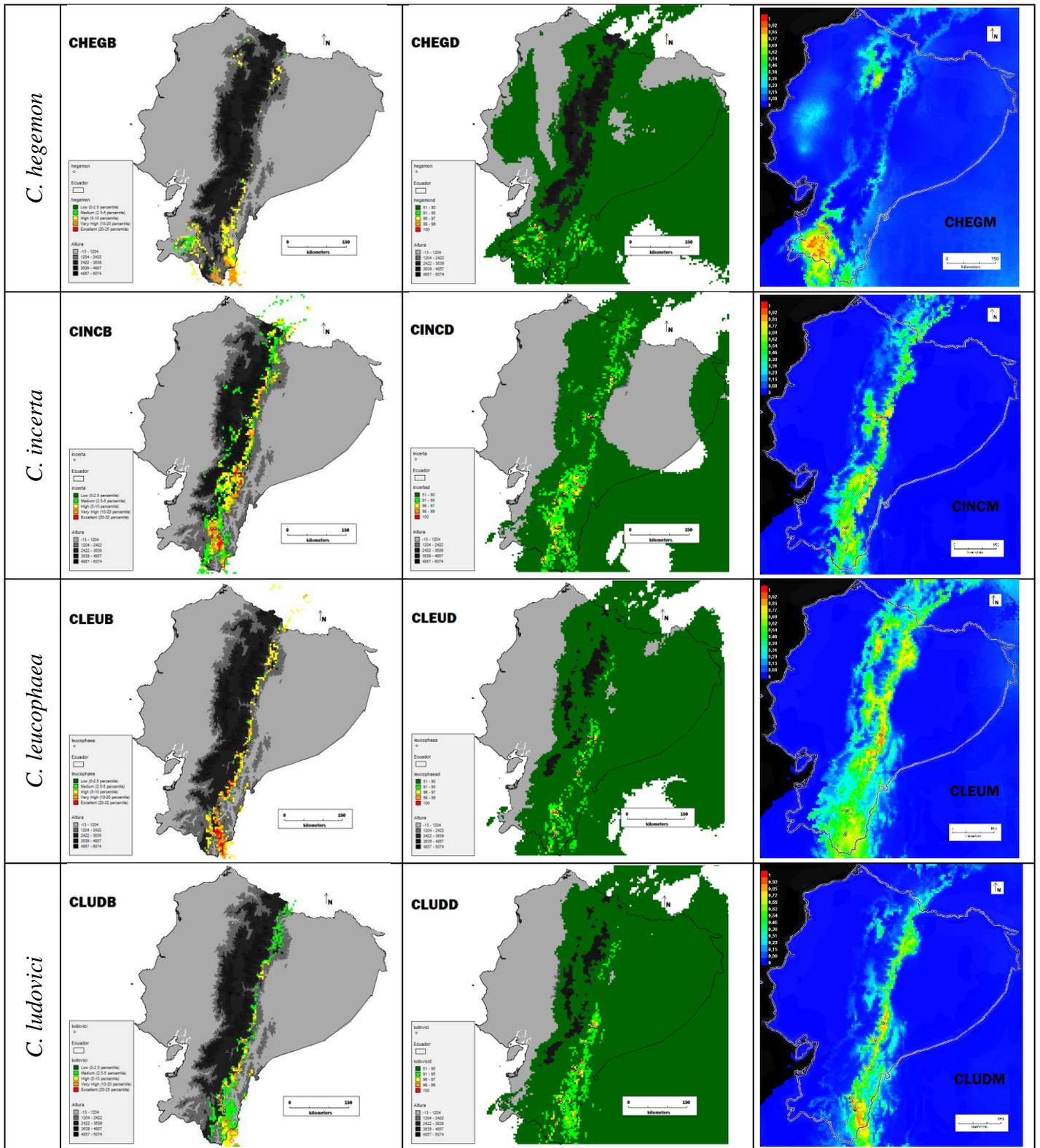
Zhou, W., Ji, X., Obata, S., Pais, A., Dong, Y., Peet, R., & Xiang, Q. Y. J. (2018). Resolving relationships and phylogeographic history of the *Nyssa sylvatica* complex using data from RAD-seq and species distribution modeling. *Molecular phylogenetics and evolution*, 126, 1-16.

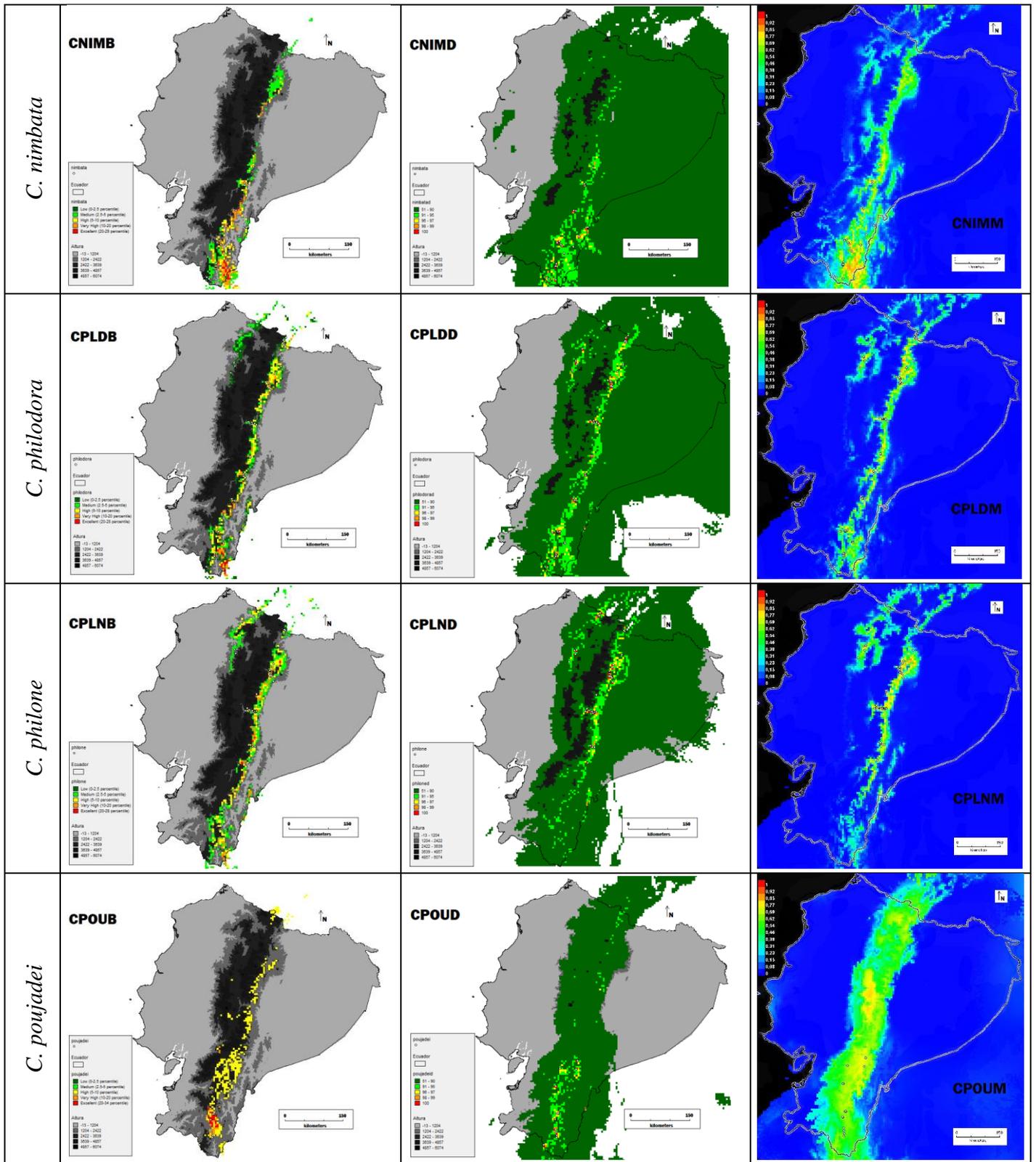
ANEXOS

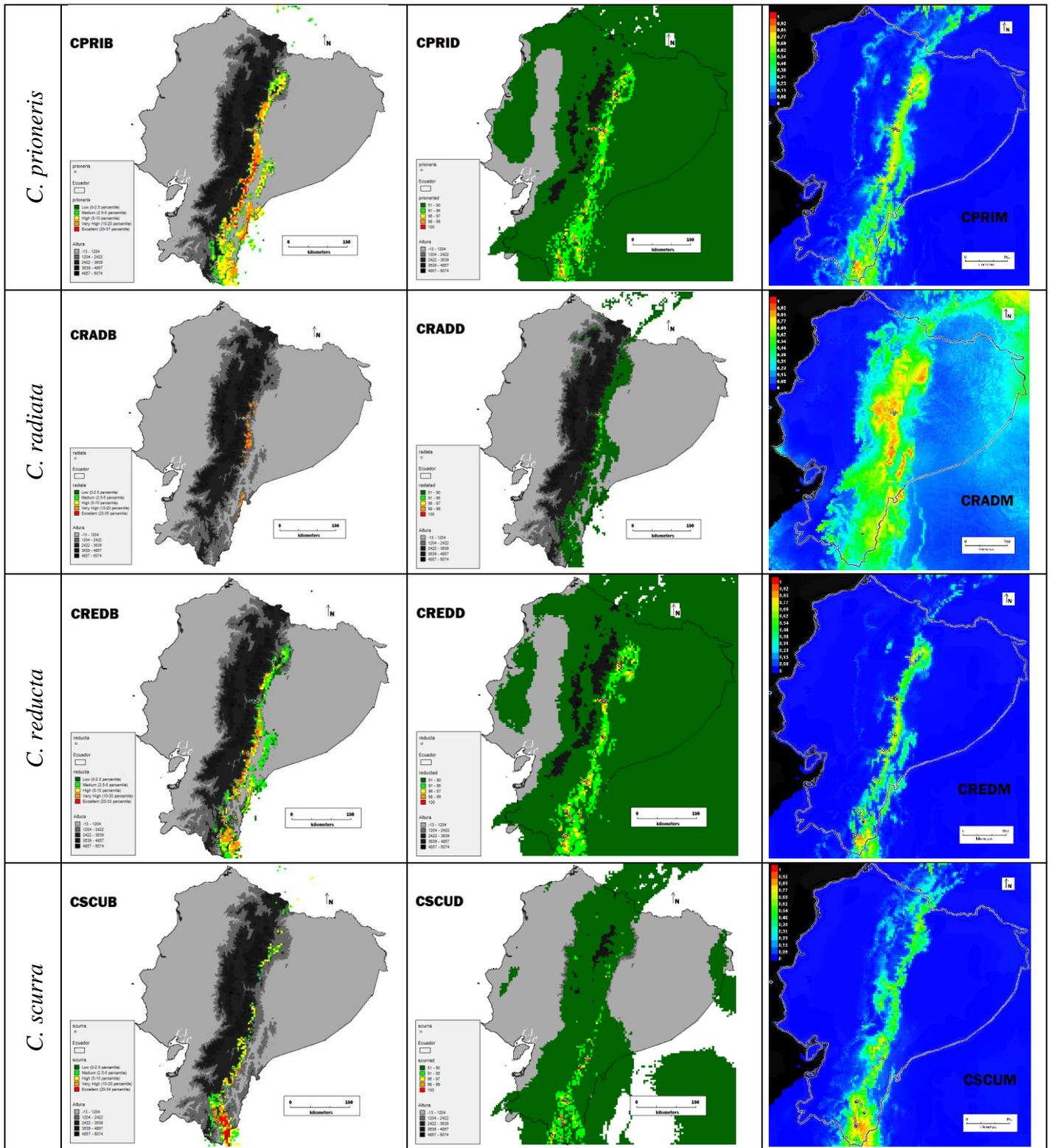
Anexo 1. Comparación de los mapas resultantes de los MDE de mariposas del género *Catasticta* en el Ecuador, mediante tres métodos predictivos.

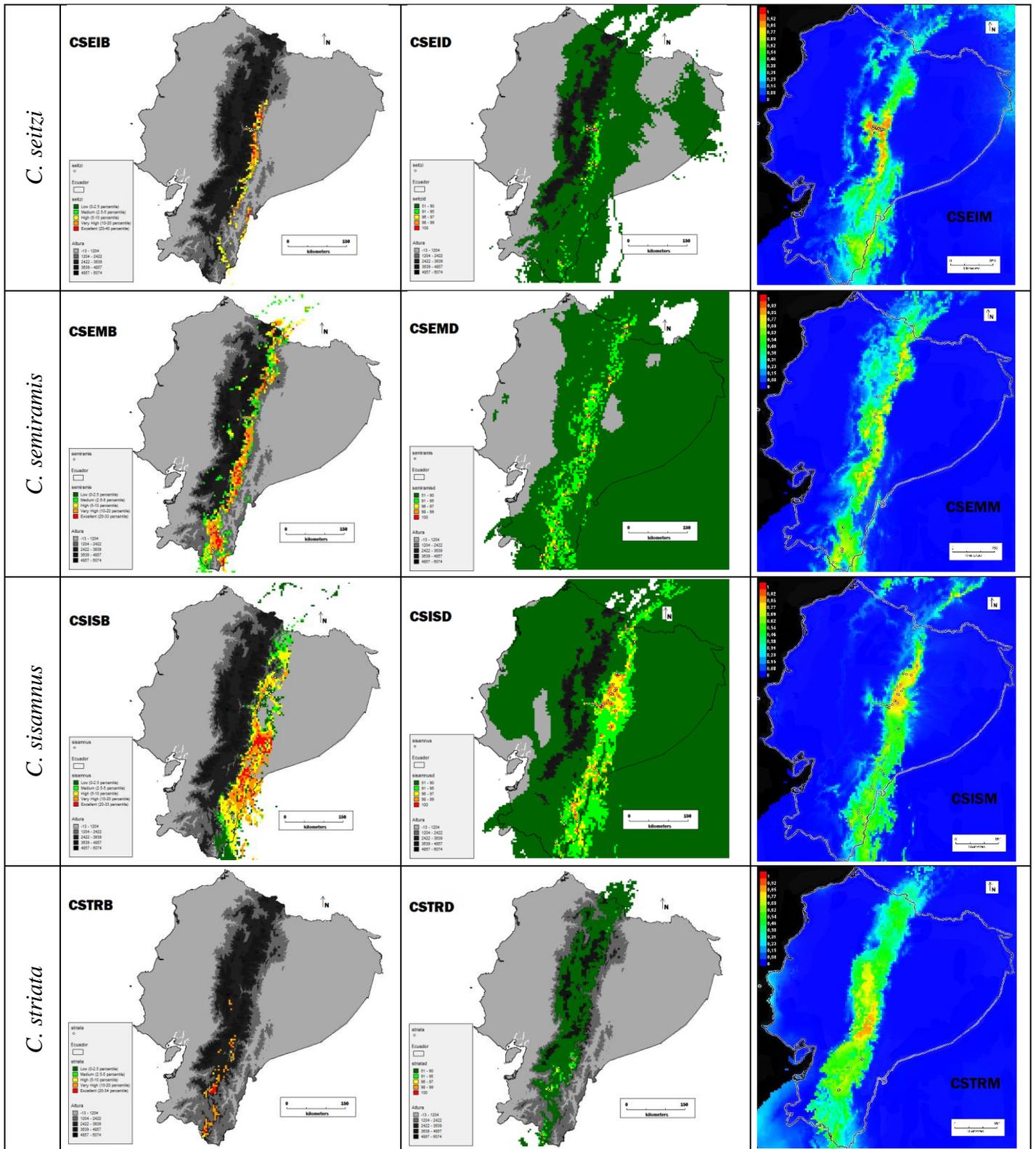


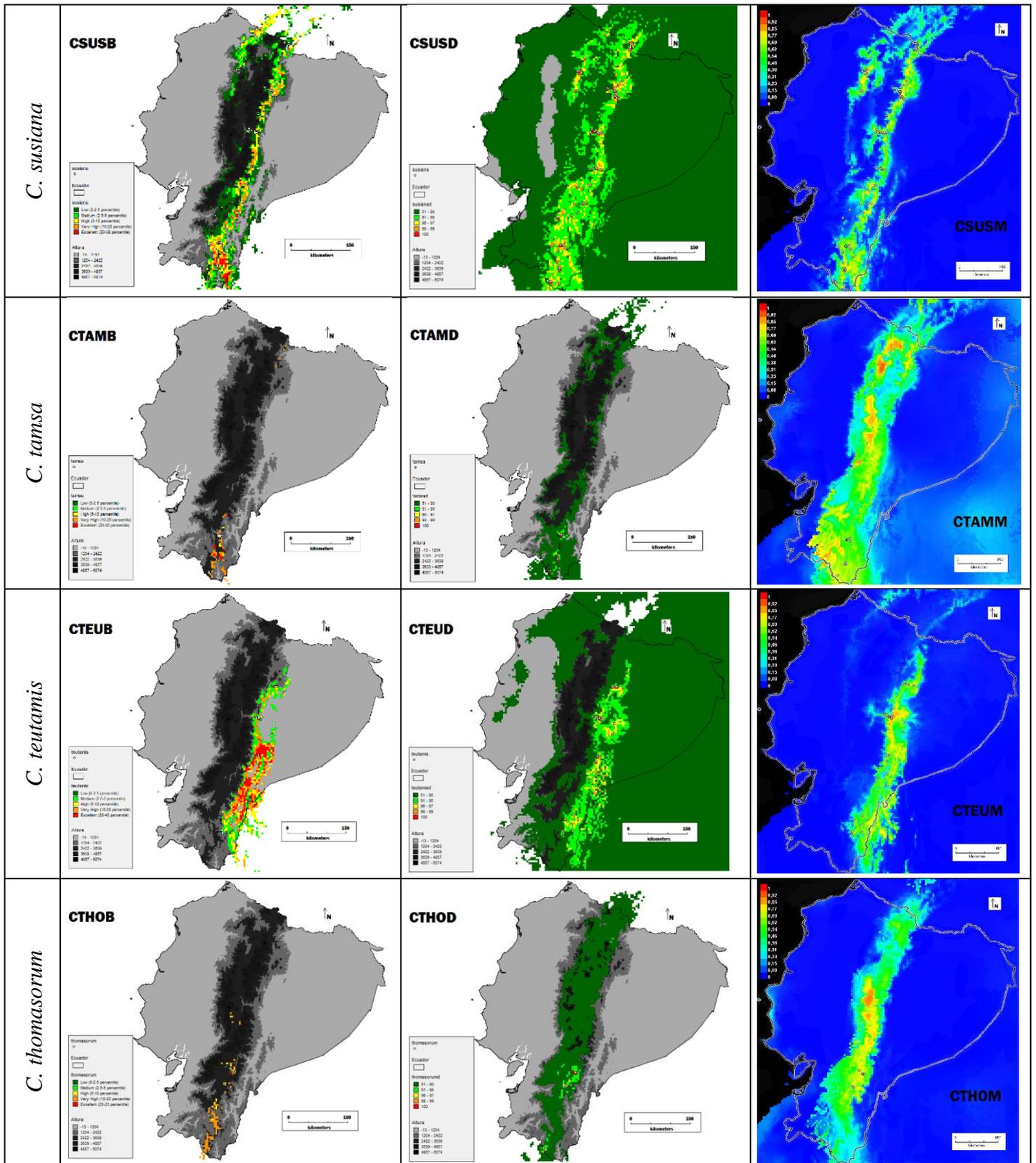


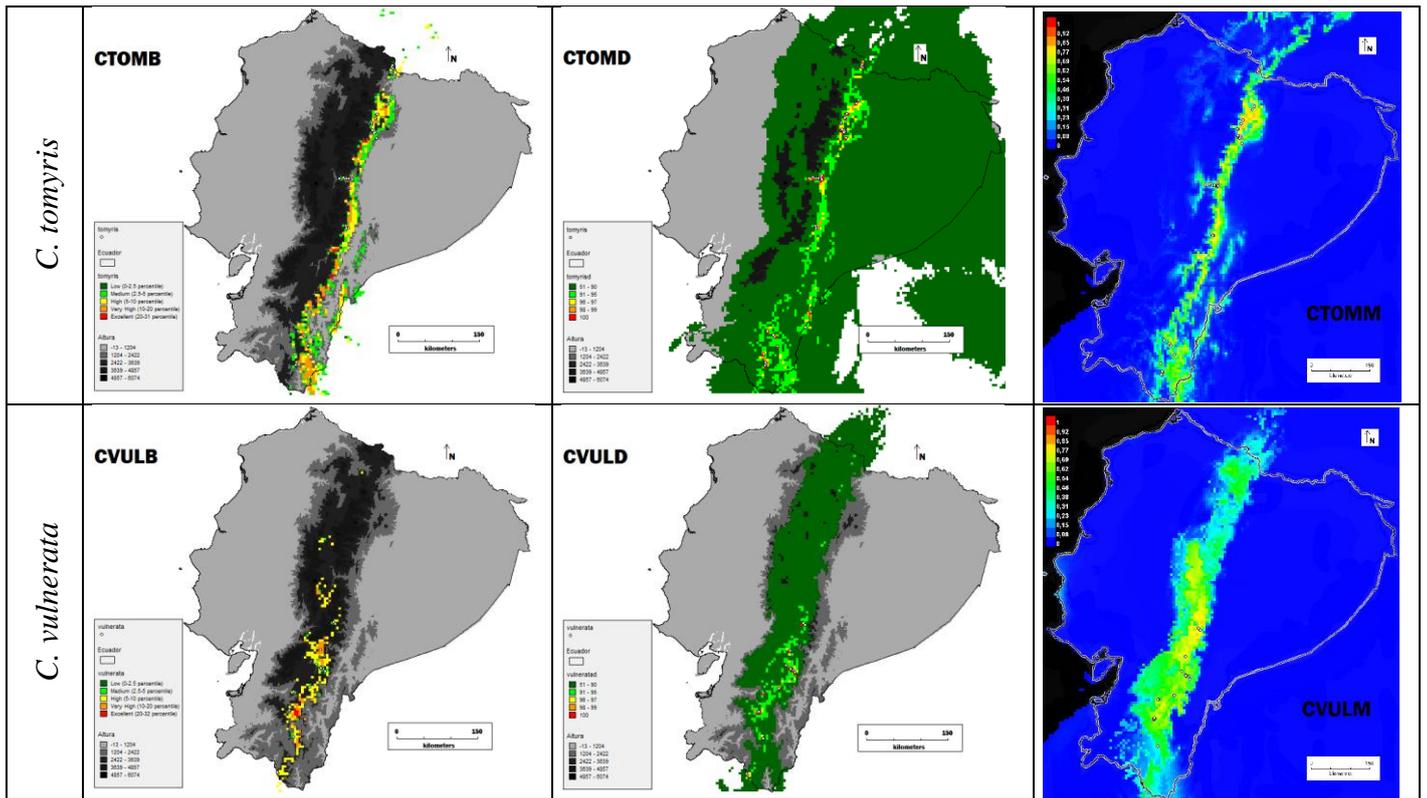












Anexo 2. Curvas AUC de los MDE de mariposas del género *Catantixta* en el Ecuador, mediante tres métodos predictivos

