

Modelos de nichos potenciales de especies de interés para tomadores de decisión, y su relación con el cambio climático en Nicaragua y América Central¹

A. Mijail Pérez¹, Carlos Poveda², Isabel Siria¹, Lenin Aburto¹, Eric Arets³ y Marlon Sotelo¹.

¹ Asociación Gaia, Colonia 10 de Junio, B- 501, Managua, Nicaragua, correo electrónico: mijail64@gmail.com

² Consultor independiente, Nicaragua

³ MNP, Holanda.

62

Avances investigativos

1. Introducción

El uso de herramientas informáticas para realizar predicciones espaciales explícitas de distribución es un medio importante e informativo de buscar relaciones entre grupos de variables ambientales y presencias de especies o grupos de especies (Guisan, et al., 2006). Los mapas que usualmente se obtienen apuntan a mostrar distribuciones potenciales más que reales (Guisan & Zimmermann, 2000), pero constituyen una técnica sumamente importante en biología analítica, con aplicaciones en conservación y planeamiento de reservas, ecología, evolución, epidemiología, manejo de especies invasoras y otros campos (Corsi, Dupre & Boitani, 1999; Peterson & Shaw, 2003; Peterson, et al. 2001; Scott et al., 2002; Welk, Schubert & Hoffmann Elk, 2002; Yom-Tov & Kadmon, 1998).

Algunas veces se dispone de datos de presencia y ausencia de especies para el desarrollo de los modelos pero esto no es lo habitual en los países tropicales donde es mayor la biodiversidad. Sin embargo, mientras que en museos de historia natural y herbarios existen grandes cantidades de datos de presencia, los datos de ausencias raramente están disponibles, especialmente para regiones tropicales pobremente muestreadas, por lo que en estos casos el modelaje tiene el mayor valor para la conservación (Anderson, Gómez-Laverde & Peterson, 2002; Ponder, Carter, Flemons & Chapman, 2001; Soberon, 1999). Además, incluso cuando los datos de ausencias están disponibles pueden ser de un valor cuestionable en muchas ocasiones (Anderson, Lew & Peterson, 2003). De tal suerte, las técnicas de modelaje que requieren sólo datos de presencias son extremadamente valiosas (Graham, Ferrier, Huettman, Moritz & Peterson, 2004). Para Nicaragua existe trabajo previo sobre modelos de nichos potenciales realizado por IUCN, Conservation International y NatureServe (2004), Pérez et al. (2006) y TNC (2007a, b y c). Estos modelos se han basado en datos relacionados con especies endémicas.

El objetivo de este artículo es presentar los modelos de nichos potenciales construidos para un grupo de especies bioindicadoras: aves, moluscos y árboles. La selección de los bioindicadores se realizó con el propósito de realizar un análisis cruzado de datos aportados por un grupo de invertebrados poco vágiles (moluscos), así como el grupo más móvil de vertebrados (aves). El papel de los árboles es crucial en la mayoría de los ecosistemas. Para la realización de los modelos se utilizó el software de modelaje Maxent.

Estos análisis fueron proyectados a futuro (2050) con base en las mismas variables climáticas a nivel de América Central, para investigar la respuesta de los grupos estudiados a un escenario de cambio climático moderado de 2° C.

2. Materiales y métodos

Localización: Nicaragua, con una superficie total aproximada de 128.000 km², es la república de mayor extensión en América Central. Está situada entre las coordenadas geográficas 10°45' y 15°05' de latitud norte y 83°15' y 87°40' de longitud oeste: limita al norte con Honduras, al este con el Océano Atlántico (Mar Caribe), al sur con Costa Rica y al oeste con el Océano Pacífico. La superficie terrestre es de 118.358 km², dividida en tres zonas geográficas principales (Ilustración 1): 1. La zona del Pacífico (38.700 km²), 2. El triángulo montañoso de las tierras altas del interior o región central-norte (42.400 km²) y 3. La planicie costera del Atlántico, que consiste en una ancha faja de planicies onduladas que bordean la costa Atlántica (46.600 km²).

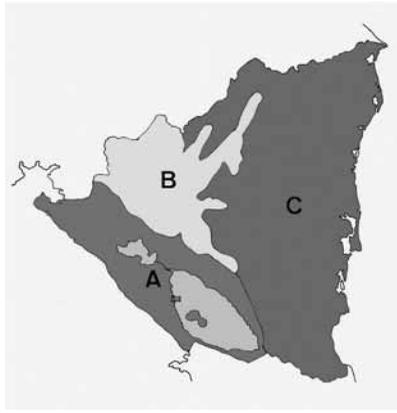


Ilustración 1. Regiones biogeográficas de Nicaragua de acuerdo a Oviedo (1993) e Incer (1973). A: Pacífico; B: Región Centro-Norte; C: Región Atlántica.

Modelos basados en el nicho: Un modelo basado en el nicho representa una aproximación del nicho ecológico de la especie en las dimensiones ambientales examinadas. El nicho fundamental de una especie consiste del grupo de todas las condiciones que permiten su supervivencia en el tiempo, mientras que su nicho realizado es el subgrupo del nicho fundamental que la especie realmente ocupa (Hutchinson, 1958).

El nicho realizado de la especie puede ser más pequeño que su nicho fundamental debido a la influencia humana, interacciones bióticas (e.g., competencia interespecífica, predación,

etc.), o barreras geográficas que han impedido la dispersión y colonización; tales factores pueden impedirle a la especie habitar (o incluso encontrar) condiciones que abarquen su potencial ecológico total. En contraste con las variables del nicho explicadas antes, realmente medidas en el campo, esta es una aproximación al nicho construida utilizando el programa que se explica debajo. El cual es una de los que se utiliza para estos efectos, entre otros de los programas más utilizados se encuentran Garp, Biomod, Ecolmod, etc.

Software: El programa utilizado para modelar fue Maxent (Phillips, Anderson & Schapire, 2006). Éste consiste en un archivo, maxent.jar, que puede ser usado en cualquier computadora que tenga Java versión 1.4 o posterior. Puede ser bajado de la web junto con su literatura asociada desde www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent. Si se usa Microsoft Windows, se debe también bajar el archivo maxent.bat y guardarlo en el mismo directorio que maxent.jar. La página web tiene un archivo llamado “readme.txt”, el cual contiene instrucciones para instalar el programa.

64

El archivo que contiene las localidades de presencia en formato .csv debe estar en formato que sigue:

species, longitude, latitude
bradypus_variegatus,-65.4,-10.3833

Puede haber muchas especies en el mismo archivo de muestras, en cuyo caso muchas especies aparecerían en el panel, junto con *Bradypus*. Otros sistemas de coordenadas pueden ser utilizados, otros además de latitud y longitud, siempre y cuando el archivo de muestras y el de capas ambientales se encuentren en el mismo sistema de coordenadas. La coordenada “X” debe ir primero que la “Y” en el archivo de muestras.

El directorio “Capas” contiene retículas ascii raster (En ESRI formato asc), cada uno de los cuales describe una variables ambiental. La matriz de datos es como sigue:

	A	B	C	D	E	F	G	H
	Especies	Latitud	Longitud					
1								
2	Lonchocarpus minimiflorus	-86.7167	12.5167					
3	Lonchocarpus minimiflorus	-86.7600	12.4667					
4	Lonchocarpus minimiflorus	-86.1333	11.8167					
5	Lonchocarpus minimiflorus	-86.2161	12.6831					
6	Lonchocarpus minimiflorus	-87.1500	12.8333					
7	Lonchocarpus minimiflorus	-87.0500	12.7000					
8	Lonchocarpus minimiflorus	-86.9167	13.1667					
9	Lonchocarpus minimiflorus	-87.0000	12.6833					
10	Lonchocarpus minimiflorus	-86.9500	12.6667					
11	Lonchocarpus minimiflorus	-86.9000	13.1167					
12	Lonchocarpus minimiflorus	-87.5500	13.0167					
13	Lonchocarpus minimiflorus	-86.9333	11.7667					
14	Lonchocarpus minimiflorus	-86.8833	12.4333					
15	Lonchocarpus minimiflorus	-86.3333	11.9667					
16	Lonchocarpus minimiflorus	-86.3333	11.9236					
17	Lonchocarpus minimiflorus	-86.3167	11.9500					
18	Lonchocarpus minimiflorus	-86.2667	12.1333					
19	Lonchocarpus minimiflorus	-86.2333	12.0667					
20	Lonchocarpus minimiflorus	-86.2667	12.1500					
21	Lonchocarpus minimiflorus	-86.0600	12.3600					
22	Lonchocarpus minimiflorus	-86.3867	12.2833					
23	Lonchocarpus minimiflorus	-86.5167	11.7833					
24	Lonchocarpus minimiflorus	-86.1500	12.3033					
25	Lonchocarpus minimiflorus	-86.2500	11.9833					
26	Lonchocarpus minimiflorus	-86.2500	12.5000					
27	Lonchocarpus minimiflorus	-86.0600	12.6167					
28	Lonchocarpus minimiflorus	-86.2500	12.1500					
29	Lonchocarpus minimiflorus	-86.3333	11.8333					

Ilustración 2. Ejemplo de datos con una matriz de datos propia (plantas).

Maxent está basado en el ‘principio de máxima entropía’, un método para analizar la información disponible para determinar una probabilidad de distribución epistémica única. Éste plantea que la distribución menos sesgada que codifica cierta información dada es aquella que maximiza la entropía de la información. El principio fue primeramente expuesto por E.T. Jaynes in 1957 cuando introdujo lo que es conocido como ‘Termodinámica de la máxima entropía’: una interpretación del algoritmo de Gibbs de mecánica estadística. Él sugirió que la termodinámica, y en particular la entropía termodinámica, debía ser vista como una aplicación particular de una herramienta general de inferencia y teoría de la información. El principio de máxima entropía es como otros métodos Bayesianos en los que se hace uso de la información existente. Es una alternativa a los métodos de inferencia de la estadística clásica.

Datos de clima para América Central: Un paquete de datos ampliamente utilizados de alta calidad está disponible en el sitio web de worlclim: <http://www.worldclim.org/current.htm> . Estos datos deben ser transformados de extensiones .BIL, .HDR y otras a ASCII. Su calidad ha sido chequeada y representan un recurso muy valioso. Se incluye una breve descripción de estos datos dada por los autores (Pearson & Dawson, 2004).

Las capas de datos fueron generadas a través de interpolación de datos climáticos mensuales procedentes de estaciones meteorológicas con una resolución de retícula de 30 arco segundos (frecuentemente referidas como resolución de 1 km). Las variables originales son precipitación total mensual, y media mensual, temperatura mínima y máxima, así como 19 variables derivadas rotuladas como BIO desde 1 hasta 19: BIO1 = Temperatura media anual, BIO2 = Rango medio diurno (Media de la mensual (temperatura máxima temperatura mínima), BIO3 = Isotermalidad (P2/P7) (* 100), BIO4 = Estacionalidad de la Temperatura (desviación estándar *100), BIO5 = Temperatura máxima del mes más cálido, BIO6 = Temperatura mínima del mes más frío, BIO7 = Rango anual de temperatura (P5P6), BIO8 = Temperatura media del cuarto más húmedo, BIO9 = Temperatura media del cuarto más seco, BIO10 = Temperatura media del cuarto más caluroso, BIO11 = Temperatura media del cuarto más frío, BIO12 = Precipitación anual, BIO13 = Precipitación del mes más húmedo, BIO14 = Precipitación del mes más seco, BIO15 = Estacionalidad en las precipitaciones (Coeficiente de variación), BIO16 = Precipitación del cuarto más húmedo, BIO17 = Precipitación del cuarto más seco, BIO18 = Precipitación del cuarto más caluroso, BIO19 = Precipitación del cuarto más frío.

Se aplicó un Análisis de componentes principales (Golicher & Cayuela, 2007) que nos permitió seleccionar un grupo de cuatro variables de las 48 originales (4 variables x 12 meses) para los propósitos del modelaje (Ilustración 3). Esta selección se realizó con base en cuáles de ellas tienen un mayor aporte a la variación en los dos o tres primeros ejes del análisis de componentes principales, estas son: Tmax6, Tmin1, Prec1 y Prec6. Se incluyeron además otras tres variables derivadas construidas a partir de las variables originales. Las variables en total son:

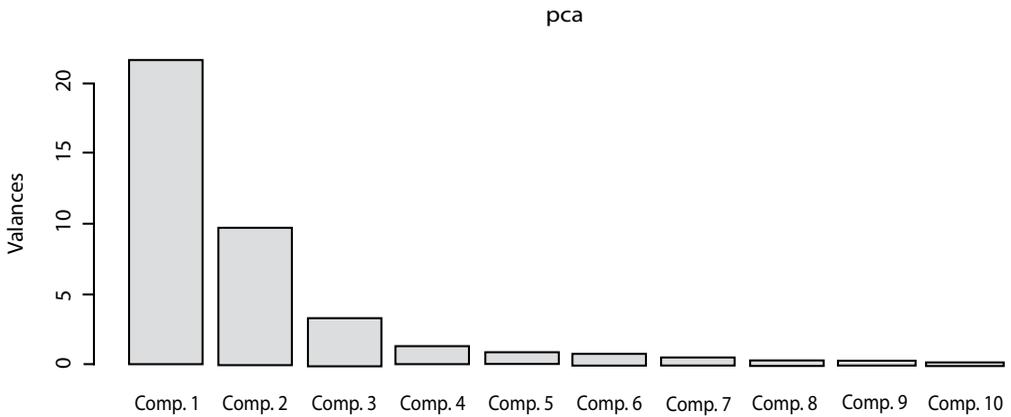


Ilustración 3. Gráfico de las contribuciones de los componentes principales

- Tmax6: Temperatura máxima en junio.
- Tmin1: Temperatura mínima de enero.
- Prec1: Precipitaciones de enero.
- Prec6: Precipitaciones de junio.
- AnnualMaxTDif: Diferencia entre el máximo de Tmax y el mínimo de Tmax.
El máximo temperatura diario tiene su mínimo en el invierno.
- DailyTDif: Máxima diferencia entre Tmax y Tmin
- GrowingMonths: Número de meses con más de 100 mm de lluvia.

66

Construcción de escenarios de cambio climático: Las variables estudiadas para América Central fueron posteriormente derivadas para la simulación de escenarios de cambio climático moderado con un aumento de 2°C de temperatura (Golicher, comunicación personal).

Datos ambientales para Nicaragua: Los datos para Nicaragua fueron tomados de estudios previos y transformados a formato ASCII para correr el modelo. Las capas ambientales para Nicaragua son (Ilustraciones 4A – 4E):

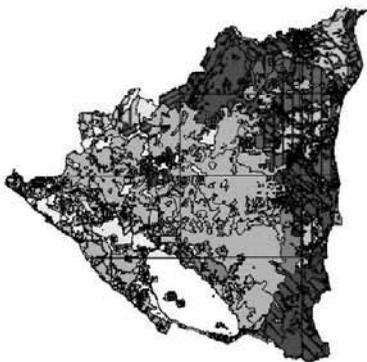


Ilustración 4A. Ecosistemas

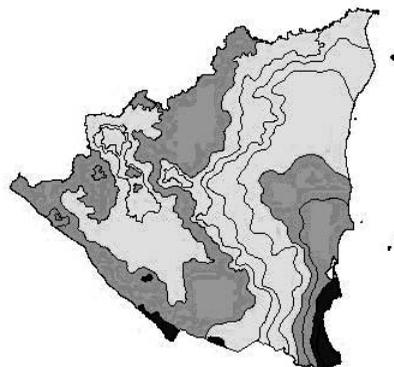


Ilustración 4B. Precipitaciones

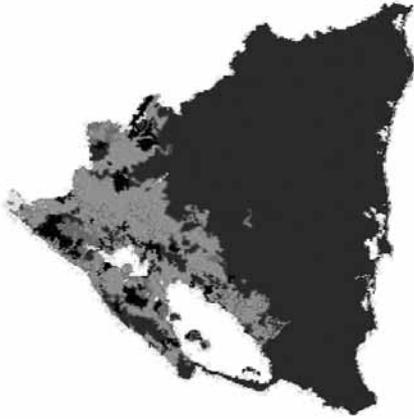


Ilustración 4C. Textura del suelo

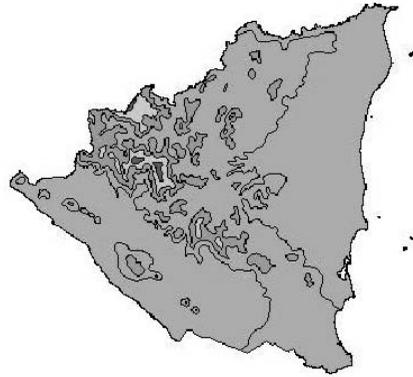


Ilustración 4D. Temperatura

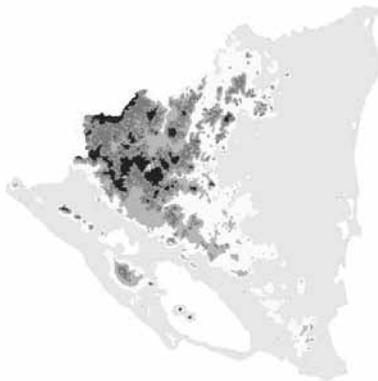


Ilustración 4E. Elevaciones

Escala de medición: La escala de medición del software en el caso de Maxent se representa por colores. Los nichos potenciales se representan según una escala de colores que va desde valores probabilísticos de 1 con una coloración roja en el mapa, hasta valores de 0 probabilidad de que la especie se encuentre en ciertas zonas con color azul intenso.

3. Resultados

Se construyeron modelos para América Central basados en las variables climáticas obtenidas de worldclim y utilizando datos de distribución de especies en Nicaragua. Según informan varios autores para la realización de modelos de predicción a escala de la región las variables no deben ser del mismo tipo que cuando se realizan modelos a escala de país. En el marco de este proyecto se trabajó con información de base para 40 especies de aves, 40 de moluscos y 40 de árboles, pero finalmente se realizaron 40 modelos para moluscos, 32 para aves y 27 para árboles ya que no se dispuso de suficiente información para realizar todos los modelos propuestos, ya que como se ha mencionado anteriormente en nuestros

países la información de campo es escasa (Anderson, et al. 2002; Ponder, et al. 2001; Soberon, 1999) y en el caso nuestro es además asimétrica (Pérez, Siria & Sotelo, 2005). Según plantean Phillips et al. (2006) se necesitan al menos 10 observaciones con sus coordenadas para que el programa de modelaje pueda correr.



68

Ilustración 5. Distribución potencial de *Bulimulus corneus* en América Central

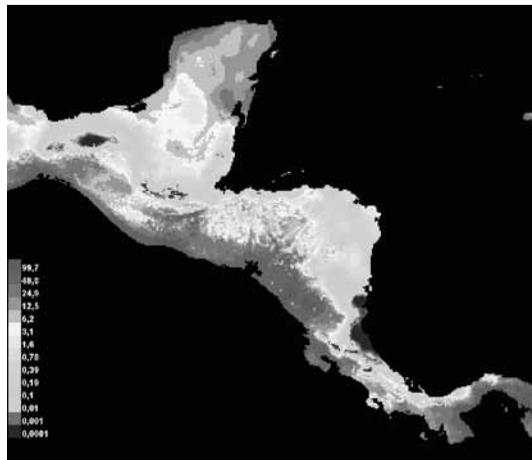


Ilustración 6. Distribución potencial de *Columbina inca* (Inca Dove) en América Central

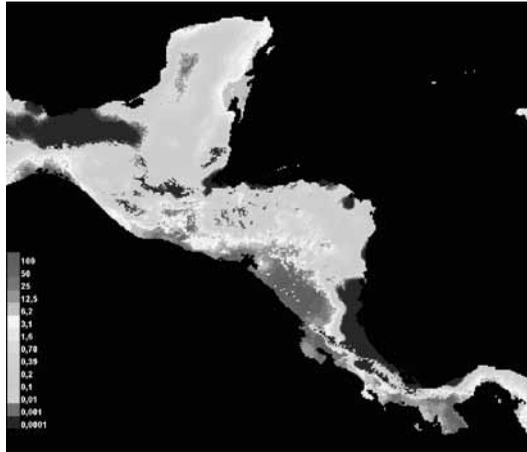


Ilustración 7. Distribución potencial de *Cordia alliodora* (Laurel) en América Central.

Modelos para Nicaragua: En el caso de los modelos realizados con base en datos ambientales para Nicaragua, se obtuvieron resultados muy interesantes. Los modelos desarrollados con base en información biológica procedente de la región del Pacífico predicen la aparición de las especies en algunas zonas de la región norte del país. Éstos posiblemente se relacionan con algunas de las variables estudiadas. Lo anterior se verá con más detalles posteriormente.

Al igual que en el caso de los modelos para la región, en el proyecto recientemente finalizado se trabajó con información de base para 40 especies de aves, 40 de moluscos y 40 de árboles, pero finalmente se realizaron 40 modelos para moluscos, 32 para aves y 27 para árboles ya que no se dispuso de suficiente información para realizar todos los modelos propuestos.

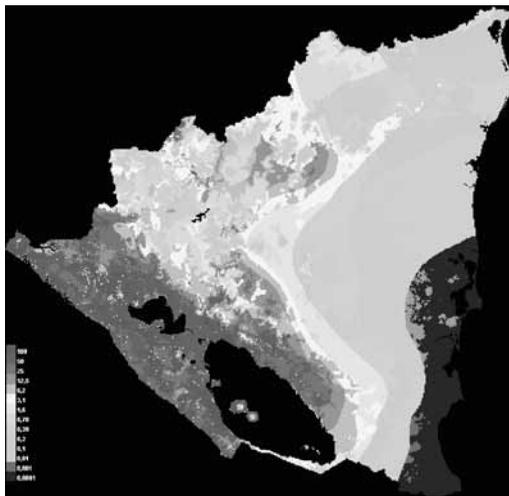


Ilustración 8. Distribución potencial de *Bulimulus corneus* en Nicaragua

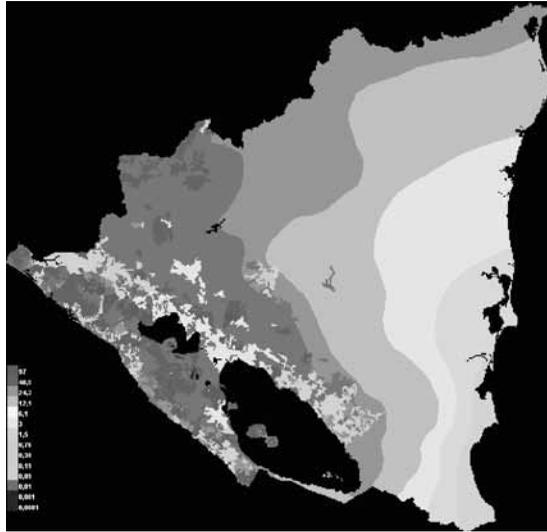


Ilustración 9. Distribución potencial de *Columbina inca* (Inca Dove) en Nicaragua

70

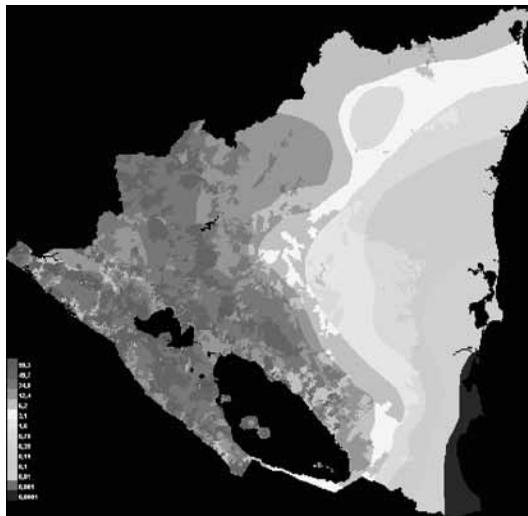


Ilustración 10. Distribución potencial de *Cordia alliodora* (Laurel) en Nicaragua

Capacidad de predicción del modelo: Como explican Phillips et al. (2006), para tener indicadores cuantitativos de la fidelidad del modelo es importante calcular las curvas ROC (Receiver Operating Characteristics: Características de Operación del Receptor). En ellas hay que observar los valores AUC (Area Under Curve: Áreas Bajo la Curva), y si los mismos se aproximan a 1 quiere decir que el modelo ha rendido resultados satisfactorios.

A continuación se presenta la curva ROC para el Laurel (*Cordia alliodora*) (Ilustración 11), en la que se pueden ver los valores de AUC cercanos a 1. Se presentan también las curvas ROC para el caracol *Bulimulus corneus* (Ilustración 12) y para la paloma *Columbina inca* (Inca Dove) (Ilustración 13).

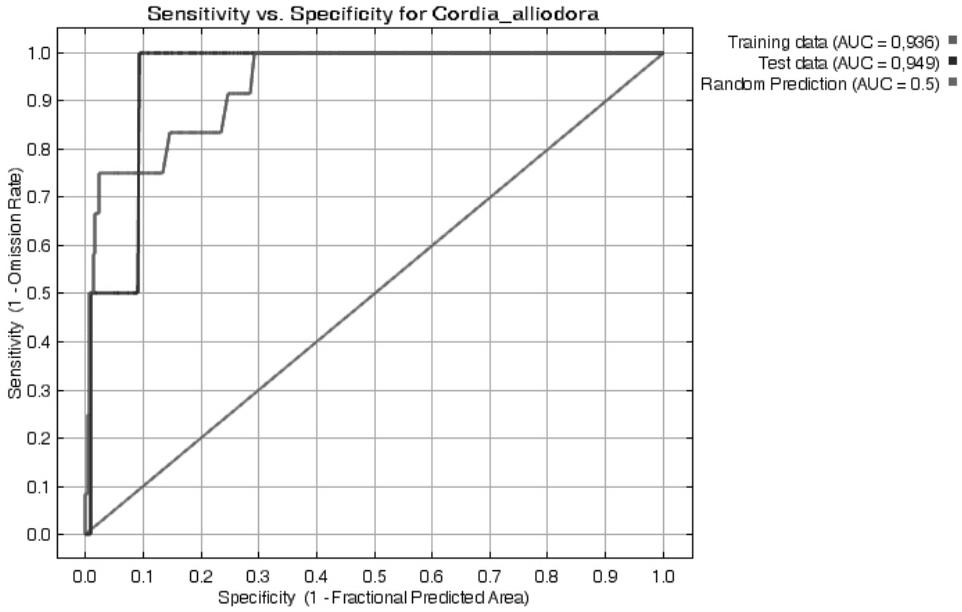


Ilustración 11. Curva ROC para el Laurel (*Cordia alliodora*)

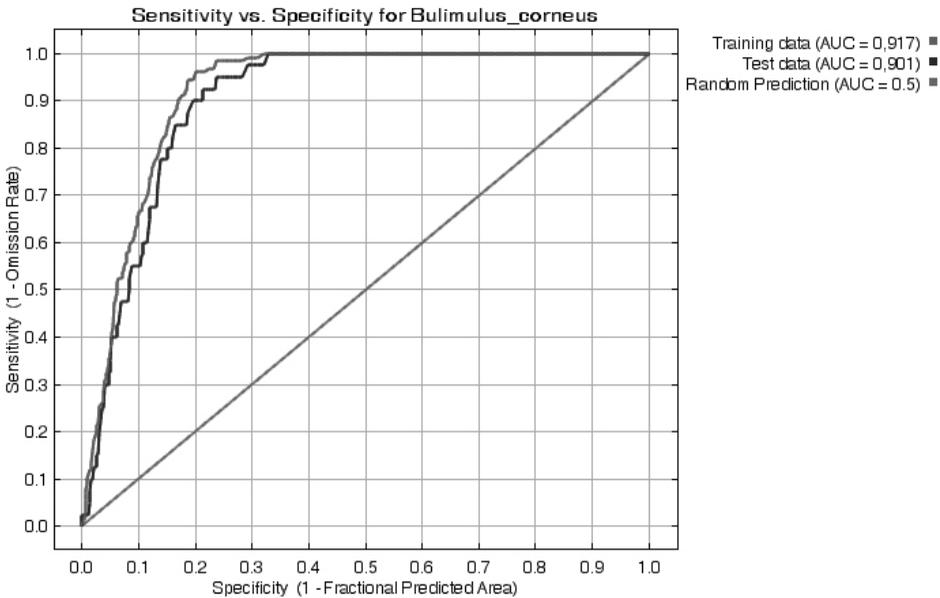


Ilustración 12. Curva ROC para el caracol *Bulimulus corneus*

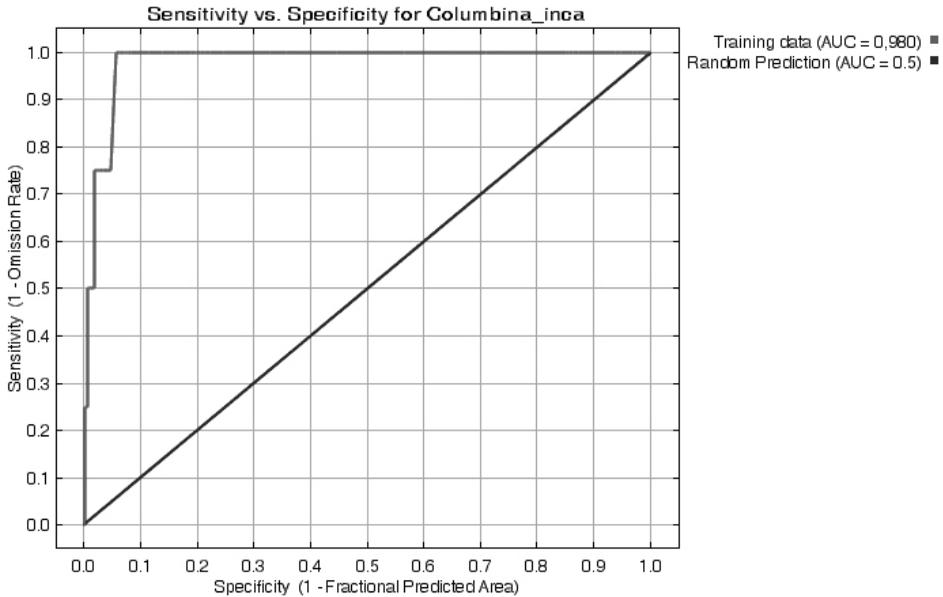


Ilustración 13. Curva ROC para la paloma *Columbina inca* (Inca Dove)

Importancia de las variables: Otro aspecto importante a tener en cuenta es la importancia relativa de las variables para el modelo, ya que existen algunas que tienen mayor importancia en la elaboración de los modelos de predicción. En la Ilustración 14 se presenta el gráfico de contribución de las variables para el Laurel (*Cordia alliodora*). Como puede observarse, la variable que tiene una contribución más alta es la textura del suelo, seguida de las precipitaciones y el tipo de ecosistemas. Se presenta también la contribución de las variables para la *Columbina inca* (Paloma de San Nicolás) y el caracol *Bulimulus corneus* (Ilustraciones 14, 15, 16).

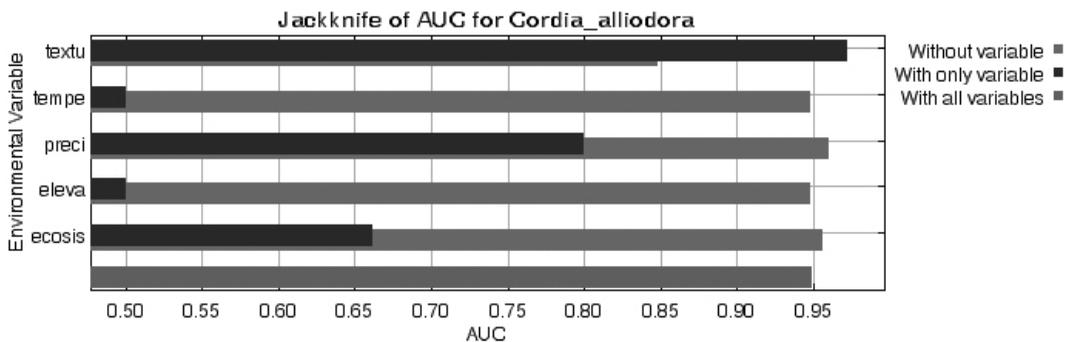


Ilustración 14. Contribución relativa de las variables partiendo de los valores de AUC en *Cordia alliodora* (Laurel)

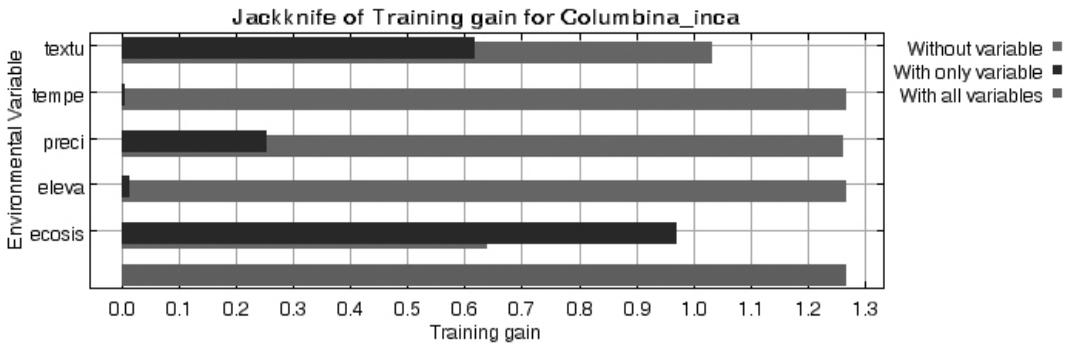


Ilustración 15. Contribución relativa de las variables partiendo de los valores de AUC para la paloma *Columbina inca* (Inca dove)

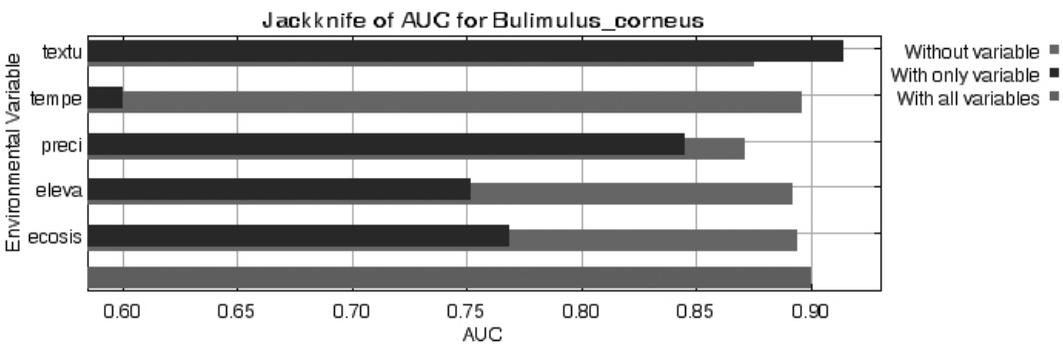


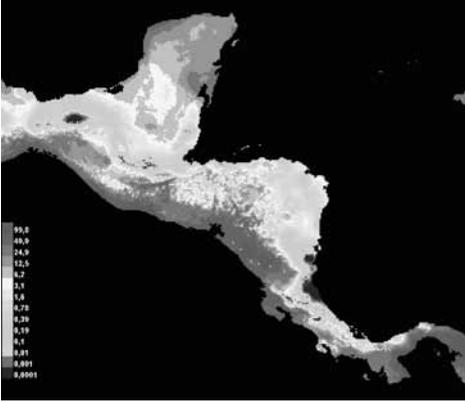
Ilustración 16. Contribución relativa de las variables partiendo de los valores de AUC en el caracol *Bulimulus corneus*

Como puede apreciarse en las ilustraciones 15 y 16, las contribuciones relativas de las variables cambian para el caso de la especie de caracol y el ave, lo cual parece muy lógico. En el caso del ave (Ilustración 15) la variable con mayor importancia son los ecosistemas y en el caso del caracol, al igual que en el caso del Laurel (*Cordia alliodora*), la variable de mayor importancia es la textura del suelo. Siendo estos dos últimos táxones muy relacionados con el suelo, lo anterior parece esperable *a priori*.

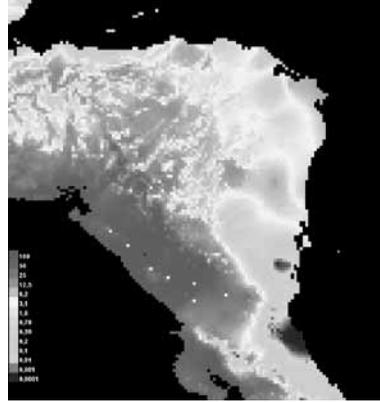
Escenarios de cambio climático: Uno de los usos de los modelos de nicho potencial de especies es la capacidad de ser utilizados para construir escenarios de cambio climático basado en especies. Si utilizamos variables ambientales de clima futuro podemos predecir cómo una especie es afectada por las condiciones de cambio climático futuro; específicamente qué parte de su ámbito de distribución será más afectado. Esto constituye una herramienta muy poderosa para establecer prioridades de conservación u otras estrategias para desarrollar políticas de conservación.

Como se dice en los métodos los datos fueron proyectados al futuro en un escenario de cambio de clima de 2° C obteniendo algunos resultados interesantes. En las ilustraciones 17, 18 y 19 se presentan los modelos obtenidos para tiempos actuales y futuros en las especies mencionadas arriba: *Columbina inca* (Inca dove, Bird), *Cordia alliodora* (Laurel, Tree) y *Bulimulus corneus* (Snail).

74

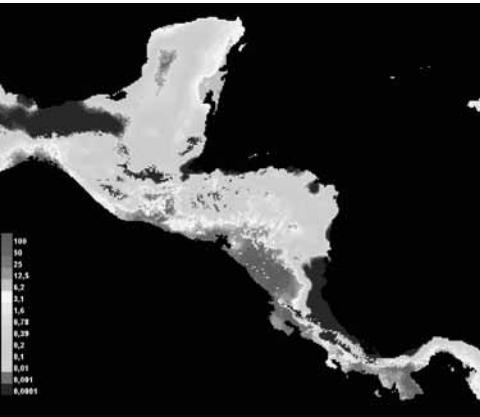


Actual

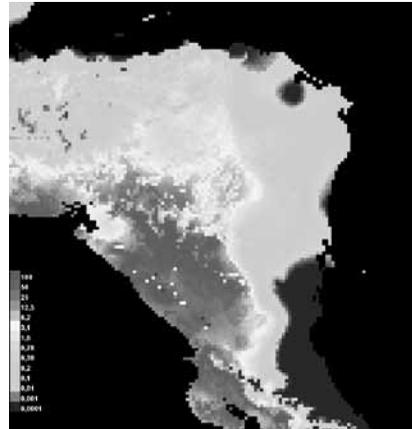


Futuro

Ilustración 17. Escenarios de distribución de especies. Actual y futura. *Columbina inca* (Tortolita colilaruga, Ave)

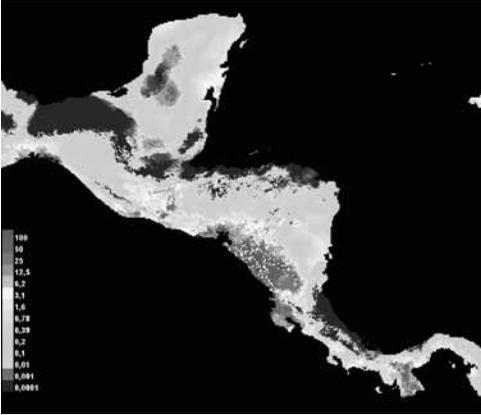


Actual

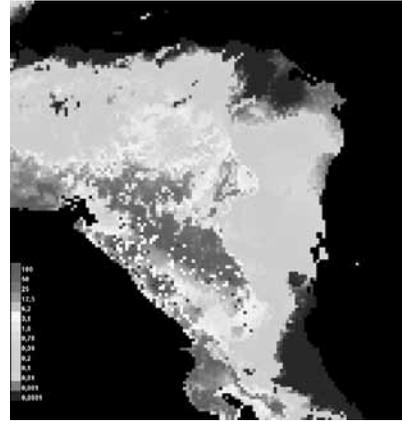


Futuro

Ilustración 18. Escenarios de distribución de especies. Actual y futura. *Cordia alliodora* (Laurel, Arbol)



Actual



Futuro

Ilustración 19. Escenarios de distribución de especies. Actual y futura. *Bulimulus corneus* (Caracol, Molusco)

A primera vista se puede apreciar que en todos los casos los ámbitos de distribución de las especies se compactan en el espacio. Además, se aprecia una tendencia de pérdida de especies en las proximidades de la Península de Cosigüina, sin embargo el núcleo del área protegida existente en la península (Ilustración 20) continúa siendo un hábitat viable.

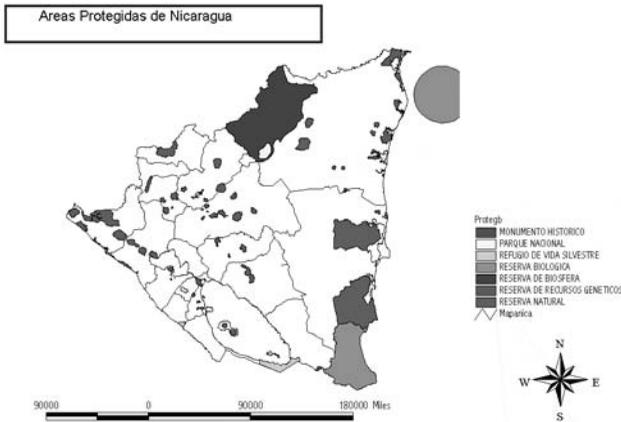


Ilustración 20. Mapa del sistema de áreas protegidas de Nicaragua (Centro de Biología Molecular-Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, 2001)

4. Discusión

Los artículos relacionados con los modelos de distribución de especies (SDM) o mapas de nichos potenciales de especies, comienzan a aparecer en la literatura científica a comienzos de la década del 2000. Entre los más relevantes pueden ser mencionados los trabajos de Thuiller, Lavorel y Araujo (2005) y Broennimann, et al. (2006) sobre plantas en Europa; Thuiller, et al. (2006) en grandes mamíferos africanos; los informes de investigación de Cuesta-Camacho, Ganzenmüller, Peralvo, Novoa y Riofrío (2006) sobre aves de los Andes; así como el trabajo de Golicher y Cayuela (2007) sobre árboles de América Central. También hemos encontrado información sobre distribución potencial de escarabajos (Buse, Schroeder & Assmann, 2007; Matern, Drees, Kleinwachter & Assmann, 2007), aunque aparentemente los invertebrados están pobremente representados en el marco de este ámbito de trabajo, probablemente debido a la escasez de información existente sobre estos táxones.

76

Algunos de los trabajos citados han abordado los nichos potenciales de las especies así como las amenazas potenciales que supone para la biodiversidad el cambio climático global (Thuiller, et al. 2006; Broennimann, et al. 2006; Araujo, Pearson, Thuiller & Erhard, 2005; Pearson & Dawson, 2004; Peterson, et al. 2001). Los estudios citados concuerdan en que el aumento del calentamiento global y el cambio climático que ello trae consigo afectan la biodiversidad a diferentes escalas y en formas diferentes, tales como:

- a) Desplazamientos de zonas de vegetación o biomas.
- b) Cambios en los ámbitos de distribución de algunas especies y en la composición de las comunidades.
- c) Interacciones entre los efectos del cambio climático y la fragmentación del hábitat.d) Cambios en el funcionamiento de los ecosistemas.

En el nivel de especies, tres respuestas generales pueden tener lugar debido al cambio climático: desplazamiento, adaptación (en términos de cambio evolutivo o de aclimatación fisiológica), o extinción local (Holt, 1990; Peterson, et al. 2001). Es plausible que los efectos del cambio climático reflejen la interacción de esos tres mecanismos generales. Por ejemplo, los desplazamientos abruptos inducidos de las distribuciones de las especies pueden conducir por último al aumento de las tasas de extinción así como a modificaciones significativas de la fenología y la fisiología de las especies (Parmesan & Yohe, 2003).

Sin embargo, algunos científicos expertos en cambio climático tienen la hipótesis de que si las especies son suficientemente móviles, ellas podrían rastrear la localización geográfica de sus nichos ecológicos (condiciones ambientales dentro de las cuales pueden mantener sus poblaciones); o si las especies son capaces de sufrir un cambio evolutivo rápido o tienen una amplia gama de tolerancia fisiológica, entonces podrían ajustarse a los cambiantes condiciones ecológicas y paisajes (Broennimann, et al. 2006; Harrison, Berry, Butt & New, 2006).

En nuestro punto de vista la vagilidad (movilidad) de las especies podría ser el elemento de éxito más fuerte en la carrera por la sobrevivencia, ya que el cambio climático ha comenzado ya a generar un impacto sobre la naturaleza y las tasas de cambio evolutivo podrían no ser tan rápidas como se necesitaría para que muchas de ella se adapten a nuevos escenarios

climáticos. En tal caso los vertebrados podrían ser el grupo de seres vivos superiores menos afectado, ya que la mayor parte de ellos son especies capaces de desplazarse rápido y encontrar nuevas zonas con sus mismos requerimientos de nicho ecológico. Como se puede apreciar en nuestros resultados, los árboles, que son un grupo sésil de seres vivos, y los moluscos (un grupo poco vágil de invertebrados), serían los grupos más afectados en un escenario de cambio climático incluso moderado.

Desde el punto de vista geográfico, la zona que se presentaría como más afectada, es la zona continental cercana al golfo de Fonseca, que es una zona fronteriza compartida entre Nicaragua, Honduras y El Salvador, por lo cual su conservación debería ser del mayor interés para los tres países. Los manglares de esta zona son de gran importancia en el ámbito biológico y económico (Jimenez, 1994), y son de marcado interés para el turismo. Estos manglares se encuentran bajo una enorme presión que los pone en peligro. Siendo ecosistemas de vital importancia, su conservación constituye una prioridad de diferentes organizaciones conservacionistas regionales y globales (Benítez, et al. 2000). Se debe tener en cuenta además que la Concha negra (*Anadara tuberculosa* y *Anadara similis*), así como varias especies de camarones y peces asociadas a los manglares, y que constituyen un rubro de gran importancia económica (Pérez, Sotelo, Siria & Robleto Pérez, 2008), correrían peligro en un escenario de cambio de este tipo.

5. Conclusiones

1. Los modelos permiten la elaboración de mapas de distribución potencial de especies amenazadas, invasoras, etc, partiendo de información escasa y dispersa.
2. Es posible realizar predicciones para la región en base a datos de uno de los países.
3. Los escenarios de cambio climático moderado afectarían más a las faunas del suelo y árboles que a otros grupos como los vertebrados.
4. La zona noroeste de Nicaragua y suroeste de Honduras y El Salvador, es decir, la zona continental cercana al Golfo de Fonseca, se presenta como de alto riesgo para la biodiversidad ante un cambio climático moderado. Se debe tener en cuenta que los manglares son ecosistemas priorizados para conservación, y la Concha negra, camarones y peces, especies asociadas a los mismos y rubros de gran importancia económica, correrían peligro en un escenario de este tipo.
5. Es de consenso general que en el nivel de especies tres respuestas generales pueden tener lugar debido al cambio climático: desplazamiento, adaptación (en términos de cambio evolutivo o de aclimatación fisiológica) o extinción local.

6. Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a Andrea Ganzenmuller y Manuel Peralvo, de Ecociencia, Ecuador, al Dr. Duncan Golicher, de Ecosur, México y al Dr. Luis Cayuela de Alcalá de Henares University, España, por su valioso apoyo en el análisis de los datos y la transformación de las variables previa al trabajo. También, al Dr. Golicher, por aportar las variables derivadas a futuro utilizadas en este artículo. Queremos agradecer también a los Drs. Rob Alkemade y Tonnie Tekelenburg, de MNP, Holanda, por su apoyo de diferente tipo durante el proyecto en que se basa este artículo.

Notas

- 1 Este artículo se basa en algunos de los resultados obtenidos mediante el proyecto "Developing a species-based model for biodiversity in the Nicaraguan Pacific Slope" financiado por MNP, Dutch Agency of Environmental Assessment, Holanda, en el 2007.

Referencias bibliográficas

- Anderson, R. P., Lew, D. & Peterson, A. T. (2003). Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecol. Model.* (162), 211–232.
- Anderson, R. P., Gómez-Laverde, M. & Peterson, A. T. (2002). Geographical distributions of spiny pocket mice in South America: Insights from predictive models. *Global Ecol. Biogeogr.* (11), 131–141.
- Araujo, M. B., Pearson, R. G., Thuiller, W. & Erhard, M. (2005). Validation of species–climate impact models under climate change. *Global Change Biology*, (11), 1504–1513.
- 78 Benítez, M., Machado, M., Erazo, M., Aguilar, J., Campos, A., Durón, G., Aburto, C., Chanchan, R. & Gammage, S. (2000). A platform for action for the sustainable management of mangroves in the Gulf of Fonseca. CEASDES/ CODDEFFAGOLF/ ICRW. Recuperado el 20 de enero de 2008 de <http://www.icrw.org/docs/Englishversionmangroves.pdf>
- Broennimann, O., Thuiller, W. Hughes, G., Midgley, G. F., Alkemade, M. R. & Guisan, A. (2006). Do geographic distribution, niche property and life form explain plants' vulnerability to global change? *Global Change Biology* (12), 1079–1093.
- Buse, J., Schroeder, B. & Assmann, T. (2007). Modelling habitat and spatial distribution of an endangered longhorn beetle. A case study for saproxylic insect conservation. *Biological Conservation* (137), 372–381.
- Centro de Biología Molecular / Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. (2001). *Información CBM Nicaragua*. Managua: MARENA-SICA/CCAD-PNUD/GEF-GTZ-PNUMA-BANCO MUNDIAL.
- Corsi, F., Dupre, E. & Boitani, L. (1999). A large-scale model of wolf distribution in Italy for conservation planning. *Conserv. Biol.* (13), 150–159.
- Cuesta-Camacho, F., Ganzenmüller, A., Peralvo, M., Novoa, J. & Riofrío, M. G. (2006). *Predicting specie's niche distribution shifts and biodiversity change within climate change scenarios. A regional assessment for bird and plant species in the Northern Tropical Andes*. Final Report, Ecociencia, Ecuador.
- Golicher, D. & Cayuela, L. (2007). *A methodology for flexible species distribution modeling within an Open Source framework*. Report to MNP, Chiapas.
- Graham, C., Ferrier, H., Huettman, S., Moritz, F., & Peterson, A. T. (2004). New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends Ecol. Evol.* 19 (9), 497–503.
- Guisan, A. & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*. (135), 147–186.
- Guisan, A., Lehmann, A., Ferrier, S., Austin, M., Overton, J. MC. Aspinall, R. & Hastie, T. (2006). Making better biogeographical predictions of species' distributions. *Journal of Applied Ecology*, (43), 386–392.
- Harrison, P. A., Berry, P., Butt, M. & New, M. (2006). Modelling climate change impacts

- on species' distributions at the European scale: implications for conservation policy. *Environmental Science & Policy*. En prensa: doi: 10.1016/j.envsci.2005.11.003
- Holt, R. D. (1990). The micro-evolutionary consequences of climate change. *Trends in Ecology and Evolution*. (5), 311–315.
- Hutchinson, G. E. (1958). Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* (22), 415–427.
- Incer, J. (1973). *Geografía ilustrada de Nicaragua*. Managua: Editorial Recalde.
- IUCN, Conservation International & NatureServe. (2004). *Global Amphibian Assessment*. version 1.1. Recuperado el 15 de octubre de 2005 de www.globalamphibians.org.
- Jiménez, J. A. (1994). *Los manglares del pacífico centroamericano*. Heredia: Editorial Fundación UNA.
- Matern, A., Drees, C., Kleinwachter, M. & Assmann, T. (2007). Habitat modelling for the conservation of the rare ground beetle species *Carabus variolosus* (Coleoptera, Carabidae) in the riparian zones of headwaters. *Biological Conservation* 13 (6), 618–627.
- Pearson, R. G. & Dawson, T. P. 2004. Bioclimate envelope models: what they detect and what they hide – response to Hampe *Global Ecology and Biogeography*. (13), 471–472.
- Pérez, A. M., Sotelo, M., Ramírez, F. Ramírez, I. López A., Siria, I. (2006). Conservación de la biodiversidad en sistemas silvopastoriles de Matiguás y Río Blanco, Dpto de Matagalpa, Nicaragua. *Ecosistemas*, (3).
- Pérez, A. M., Sotelo, M., Siria, I. & Robleto, R.. (2008). *Estudio de pre-factibilidad sobre producción y comercialización de Conchas negras (Anadara tuberculosa y Anadara similis) en los manglares del Municipio de Tola, Rivas*. GTZ, Managua: Manuscrito no publicado.
- Pérez, A. M., Siria, I. & Sotelo, M. (2005). *Propuesta de Programa de investigación y monitoreo de la biodiversidad en áreas protegidas de Nicaragua*. Managua: MARENA-Proyecto Araucaria.
- Peterson, A. T. & Shaw, J. (2003). *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distribution, and climate change effects. *Int. J. Parasitol.* (33), 919–931.
- Peterson, A. T., Sánchez-Cordero, V., Soberón, J., Bartley, J., Buddemeier, R. H. & Navarro-Sigüenza, A. G. (2001). Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecological Modelling*. (144), 21–30.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. & Schapire, R. E. 2006. **Maximum entropy modeling of species geographic distributions**. *Ecological Modelling* 190 (3–4), 231–259.
- Ponder, W. F., Carter, G. A., Flemons, P., Chapman, R. R. (2001). Evaluation of museum collection data for use in biodiversity assessment. *Conserv. Biol.* (15), 648–657.
- Scott, J. M., Heglund, P. J., Morrison, M. L., Haufler, J. B., Raphael, M. G., Wall, W. A. & Samson, F. B. (Eds). (2002). *Predicting Species Occurrences: Issues of Accuracy and Scale*. Washington, D.C.: Island Press.
- Soberón, J. (1999). Linking biodiversity information sources. *Trends Ecol. Evol.* (14), 291.
- Thuiller, W., Broennimann, O., Hughes, G., Alkermade, J. R. M., Midgley, G. F., Corsi, F. (2006). Vulnerability of African mammals to anthropogenic climate change under conservative land transformation assumptions. *Global Change Biology*, (12), 424–440.
- Thuiller, W., Lavorel, S. & Araujo, M. B. (2005). Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, (102), 8245–

8250.

- TNC. (2007a). *Identificación de Objetos de Conservación de Filtro Fino; Evaluación Ecorregional de Sistemas Terrestres de Mesoamérica. Mapas de Distribución Potencial de Aves*. Versión 1.0. San José, Costa Rica: The Nature Conservancy.
- TNC. (2007b). *Identificación de Objetos de Conservación de Filtro Fino; Evaluación Ecorregional de Sistemas Terrestres de Mesoamérica. Mapas de Distribución Potencial de Mamíferos*. Versión 1.0. San José, Costa Rica: The Nature Conservancy.
- TNC. (2007c). *Identificación de Objetos de Conservación de Filtro Fino; Evaluación Ecorregional de Sistemas Terrestres de Mesoamérica. Mapas de Distribución Potencial de Reptiles*. Versión 1.0. San José, Costa Rica: The Nature Conservancy. San José-Costa Rica.
- Welk, E., Schubert, K. & Hoffmann, M. H. (2002). Present and potential distribution of invasive mustard (*Alliaria petiolata*) in North America. *Divers. Distributions* (8), 219–233.
- Yom-Tov, Y. & Kadmon, R. (1998). Analysis of the distribution of insectivorous bats in Israel. *Divers. Distributions* (4), 63–70.