

Informe final* del Proyecto DS009
Áreas potenciales de distribución y GAP análisis de la herpetofauna de México

Responsable: Dr. Oscar Flores Villela
Institución: Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Departamento de Biología
Museo de Zoología "Alfonso L Herrera"
Dirección: Apartado Postal 70-399, Coyoacán, México, DF, 04510 , México
Correo electrónico: ofv@hp.fciencias.unam.mx
Teléfono/Fax: Tel: 5622 4945 Fax: 5622 4828
Fecha de inicio: Septiembre 30, 2005
Fecha de término: Abril 15, 2008
Principales resultados: Informe final, Cartografía
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Flores Villela, O. y L. Ochoa Ochoa, 2010. Áreas potenciales de distribución y GAP análisis de la herpetofauna de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DS009.** México D. F.

Resumen:

El presente trabajo tiene como objetivo detectar los vacíos u omisiones que actualmente existen con el sistema nacional de áreas naturales protegidas y las regiones terrestres prioritarias con la herpetofauna de México. Esto se realizará mediante el modelado del nicho ecológico a través de un algoritmo de predicción (GARP) para generar las áreas de distribución potenciales, posteriormente se editarán dichos mapas para obtener su distribución ancestral y actual. Se revisarán especie por especie los registros existentes y las áreas de distribución obtenidas para obtener una mayor precisión en los análisis de omisión en conservación.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

Identificación de vacíos en la conservación de los anfibios y reptiles de México

Oscar Flores Villela y Leticia Ochoa Ochoa

Museo de Zoología “Alfonso L Herrera” Facultad de Ciencias UNAM

ofv@hp.fciencias.unam.mx, ochoal@ciencias.unam.mx

El valor de una civilización no se mide por lo que es capaz de crear,
sino por lo que es capaz de conservar.
Anónimo

Introducción

La selección de sitios para proteger la biodiversidad ha sido uno de los grandes temas en los últimos tiempos en biología de la conservación. Los científicos enfrentan retos para establecer criterios claros y repetibles en la elección de éstos sitios, además, los métodos de selección deben ser fácilmente repetibles y rápidos de obtener debido a las presiones que existen actualmente sobre la naturaleza, como dicen Pressey et al. (1993) se debe dejar atrás la estrategia ‘oportunistas’ en la creación de reservas. Ahora contamos con herramientas para hacerlo con criterios educados.

Un sistema de áreas naturales protegidas debe ser eficiente y flexible. El término eficiente se refiere a la posibilidad de proteger un alto porcentaje de especies en una región (idealmente la totalidad de ellas) con el menor número de sitios posible (Arita y Rodríguez, 2002). La flexibilidad se refiere a la posibilidad de escoger entre varios sitios si alguno de ellos no puede protegerse por alguna razón (social o política), incluso biológica, pensando en escenarios de cambio climático o desastres naturales.

Plantear un sistema de reservas para proteger a todas las especies de un grupo, por no decir de todos los grupos es sumamente complejo y puede resultar impráctico. Se ha visto que utilizar el parámetro de maximización o eficiencia máxima (representar a cada especie al menos en una localidad), no tiene sentido pues se vuelve completamente infructuoso al pensar que una sola población es suficiente para mantener la especie en el tiempo (Frankham et al. 2004). Surge entonces el siguiente planteamiento lógico ¿cuántas poblaciones son necesarias para mantener la viabilidad de la especie?; la respuesta lógica biológicamente hablando sería, todas. Si nos interesa que un sistema de reservas sea eficiente ¿cuál es el número mínimo de poblaciones a proteger para

asegurar los procesos ecológicos y evolutivos de una especie? Otras preguntas adicionales serían; ¿qué tan comunicados deben estar?, ¿qué tan alejados?, ¿cómo mantenemos la variación geográfica (pool genético) dentro de una especie?. La mayoría de estas preguntas no tienen respuesta para las especies en general, los grupos que estamos estudiando, anfibios y reptiles, no son la excepción.

En el planteamiento de un sistema de reservas se pueden optar por diferentes criterios: riqueza, endemismo, especies raras, entre otros. Según Rabinowitz et al. (1986) las razones por las que una especie es rara, son: a) densidades poblacionales bajas, lo que aumenta la probabilidad de extinción estocástica; b) área de distribución restringida, lo que también aumenta la probabilidad de extinción y además limita el número de sitios en los que se puede proteger a la especie (Arita y Rodríguez, 2002); c) que la especie sea especialista en uno o pocos tipos de hábitat, o d) la combinación de dos o todas las características anteriores. Desafortunadamente no existen muchos estudios poblacionales para las especies de anfibios y reptiles de México, sin embargo, sí conocemos la riqueza de estos vertebrados y el porcentaje de endemismo que representan en el país (Flores-Villela, 1993a, b; Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2004). Cabe resaltar el hecho de que si se quiere preservar sistemas saludables se debe contemplar la conservación de todas las especies y no sólo a una parte de ellas.

Las alternativas para la conservación deben tener en cuenta una serie de lineamientos como educación, implementación de tecnologías ‘blandas’, acoplamiento del crecimiento poblacional con la explotación de recursos, conservación de la tierra cultivable, protección de la diversidad, y otras. La importancia de las ANP's se ve reflejada ampliamente en todo lo anterior (Anaya *et al.* 1992). Minimizar el costo de las áreas naturales protegidas maximizando la eficiencia es el problema de conservación que más se ha estudiado recientemente. Rodrigues *et al.* (2000) citan sólo como ejemplo seis trabajos anteriores. El método de complementariedad de áreas permite escoger un conjunto complementario de áreas que representan el mínimo número de áreas posible a preservar con un máximo de especies presentes en dichas áreas (Humphries et al. 1991).

Este trabajo se desarrolla dentro del marco de un proyecto para detectar los vacíos en la conservación en México desarrollado por la Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la diversidad (CONABIO). En particular el objetivo de este estudio es

identificar sitios importantes en la conservación que se encuentren fuera de áreas naturales protegidas utilizando dos análisis, uno utilizando Marxan y un análisis de Complementariedad, para identificar aquellas zonas que son importantes por su contenido de especies, que deben protegerse y que además se encuentran fuera de las áreas naturales protegidas.

Métodos

Datos de recolecta

La base de datos utilizada en este estudio concentra los datos de diferentes colecciones (106 colecciones y 25 proyectos de la CONABIO) obtenida a través del Sistema de Información Biológica (SIB) de la CONABIO. Esta base contiene 182 102 registros de anfibios y reptiles de México. Se trabajó para dejar esta base depurada con más del 99.5 % de registros georreferidos (latitud y longitud) y con nombres actualizados (Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2004). No se tomó en cuenta las subespecies para estos análisis. Se llevó a cabo un proceso de depuración geográfica y nomenclatural, en otras palabras, se revisó que la distribución de las especies fuera coincidente con los límites de la distribución conocida de cada especie o muy cercanos a ella, se eliminaron todos los registros en áreas en donde era poco probable que la especie se encontrara, esto se realizó con la ayuda de Arc View 3.2a (ESRI, 1999) y Acces. La revisión taxonómica y de distribución estuvo basada en las revisiones recientes de taxonomía (Flores-Villela, 1993; Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2004; Faivovich *et al.* 2005; Frost *et al.* 2006; Flores-Villela y Canseco-Márquez *en prep.*) y fue aprobada por el Dr. Oscar Flores Villela y el M. en C. Luis Canseco Márquez.

Modelado de las áreas de distribución potencial

Con la base de registros puntuales se generaron los modelos del nicho ecológico para cada especie utilizando el algoritmo genético GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Production) (Stockwell y Peters, 1999). Para realizar dichos modelos se utilizaron 19 coberturas climáticas de México desarrolladas por el Téllez (2004), estos mapas tienen una resolución de 1km² aproximadamente (0.01° Lat-Lon), además se incluyeron las variables de aspecto, pendiente, índice topográfico y el modelo de elevación digital.

Se generaron 100 modelos para cada especie, utilizando criterios diferentes según el número de registros únicos que se tiene de cada especie, tomando como división 10

registros. Lo anterior se basó en ejercicios previos para verificar los modelos. Para las especies con más de 10 registros se utilizaron 50% de los registros para generar el modelo dejando el porcentaje restante para prueba, los parámetros de los mejores modelos o '*best subsets*' fueron los parámetros predeterminados. Para las especies que tenían registros menores o iguales a 10, se utilizó el 100% de los datos para correr los modelos y en 'omission threshold' se utilizó el parámetro 'soft', para asegurar que el programa hiciera los 100 modelos y a partir de esos obtener los mejores modelos. Ya que de otra manera no necesariamente genera los 100 modelos, sino que va generando los modelos si cumplen con los parámetros fijados para obtener los mejores modelos (Best subsets) entonces los anexa, una vez que completa el número especificado de mejores modelos, termina con la especie en proceso y continúa con la siguiente especie.

El mejor modelo se obtuvo a partir de la suma de los mejores modelos (best subsets), seleccionado a partir del 80% de coincidencia en el caso de las especies con más de 10 registros y 60% en el caso contrario. Una vez obtenidos los modelos en formato Grid se convirtieron a vector (Shape) y de ahí se hicieron los recortes, es decir la edición de los modelos, para obtener las áreas de distribución por especie con los polígonos generados en la revisión geográfica. Lo anterior se realizó con la ayuda de expertos herpetólogos y colaboradores (OFV, M. en C. Luis Canseco, y los colaboradores M. en C. María Eugenia y Biól. Uri García). Con las áreas de distribución se generaron mapas de riqueza a diferentes escalas para los dos grupos. Con estos datos base se realizaron dos análisis para identificar áreas prioritarias para la conservación y los vacíos que existen en la conservación en México, un análisis para detectar sitios prioritarios utilizando MARXAN (Ball et al. 2000, Possingham et al. 2000) y otro de complementariedad utilizando CPLEX (ILOG, 1999).

Selección de las áreas prioritarias: MARXAN

Los análisis de selección de sitios prioritarios utilizando el algoritmo MARXAN se hicieron siguiendo los criterios establecidos en los talleres de CONABIO. Las diferencias en los análisis que realizamos fueron: 1) Se tomaron como conjunto anfibios y reptiles, porque pese a que pueden llegar a presentar áreas prioritarias distintas, a la hora de establecer planes de manejo se van a tomar los sitios que sean importantes no

sólo para estos grupos sino para la fauna en conjunto. Por lo cual el análisis se efectuó con ambos grupos. 2) Se tomaron en cuenta todas las especies tanto de anfibios como de reptiles como importantes a conservar, esto es fueron incluidas específicamente como *targets* o metas, y 3) La selección de metas a conservar de cada especie se hizo utilizando una gráfica de frecuencias dividida en cuartiles. Se realizaron cuatro ejercicios, en el primero se propuso como meta conservar el 80% del área de las especies pertenecientes al último cuartil, 60% para las especies del penúltimo, 40% para las del segundo y finalmente 20% para las del primero. En el segundo ejercicio se tomaron como meta la mitad de los porcentajes propuestos, en el tercero la cuarta parte y en el último la octava parte de las metas propuestas originalmente.

Complementariedad

Otra forma de elegir los sitios prioritarios fue utilizar el método de complementariedad (Humphries *et al.* 1991), el cual consiste en elegir un conjunto de áreas con la mayor diversidad posible en total, es decir con el mínimo de especies compartidas entre los sitios seleccionados o con un alto recambio. Para el análisis de complementariedad, se decidió utilizar la opción de representar cada especie por lo menos en un sitio del conjunto complementario, no necesariamente minimizando dicho conjunto; esto es, el principio de máxima eficiencia (Rodrigues *et al.*, 2000). El análisis se realizó utilizando una retícula de 1/8 de grado, la cual se ha observado es el mínimo tamaño que provee suficiente robustez al utilizar modelos de predicción (Ochoa-Ochoa, 2006). Los conjuntos complementarios se obtuvieron con el programa CPLEX. Aunque se sabe que el principio de máxima eficiencia no es el más adecuado puede servir como una primera aproximación a la elección de sitios prioritarios para conservar.

Se hicieron los análisis necesarios para comparar los sitios seleccionados por ambos procesos, Marxan y complementariedad, con las áreas naturales protegidas ANP's y con las regiones terrestres prioritarias RPT's, ambos mapas son los que están disponibles en red (<http://www.conabio.gob.mx>). El área de estudio fue toda la República Mexicana incluyendo sus islas para el caso del análisis de complementariedad.

Resultados

Se pudieron generar modelos de predicción de 1012 especies de las 1033 encontradas en la base de datos. Todas aquellas que no se pudieron modelar tienen distribución endémica insular o menos de 5 registros que generaron modelos vacíos, es decir, tienen poca información que no fue posible generar un modelo de predicción. Se generaron mapas de riqueza con el solapamiento de las áreas de distribución para anfibios (Mapa 1), para anfibios endémicos (Mapa 2), para reptiles (Mapa 3), para reptiles endémicos (Mapa 4) y uno de herpetofauna (Mapa 5).

Marxan

En el primer análisis se identificaron 6288 sitios que corresponden a más del 75% del territorio de la República Mexicana. En el segundo análisis fueron seleccionados 3291 sitios correspondientes a un poco más del 39% del territorio. En el tercer análisis 1695 sitios fueron seleccionados equivalentes a más del 20% del territorio. En el último análisis 860 sitios fueron seleccionados los cuales corresponden al 10.27 % del territorio del país.

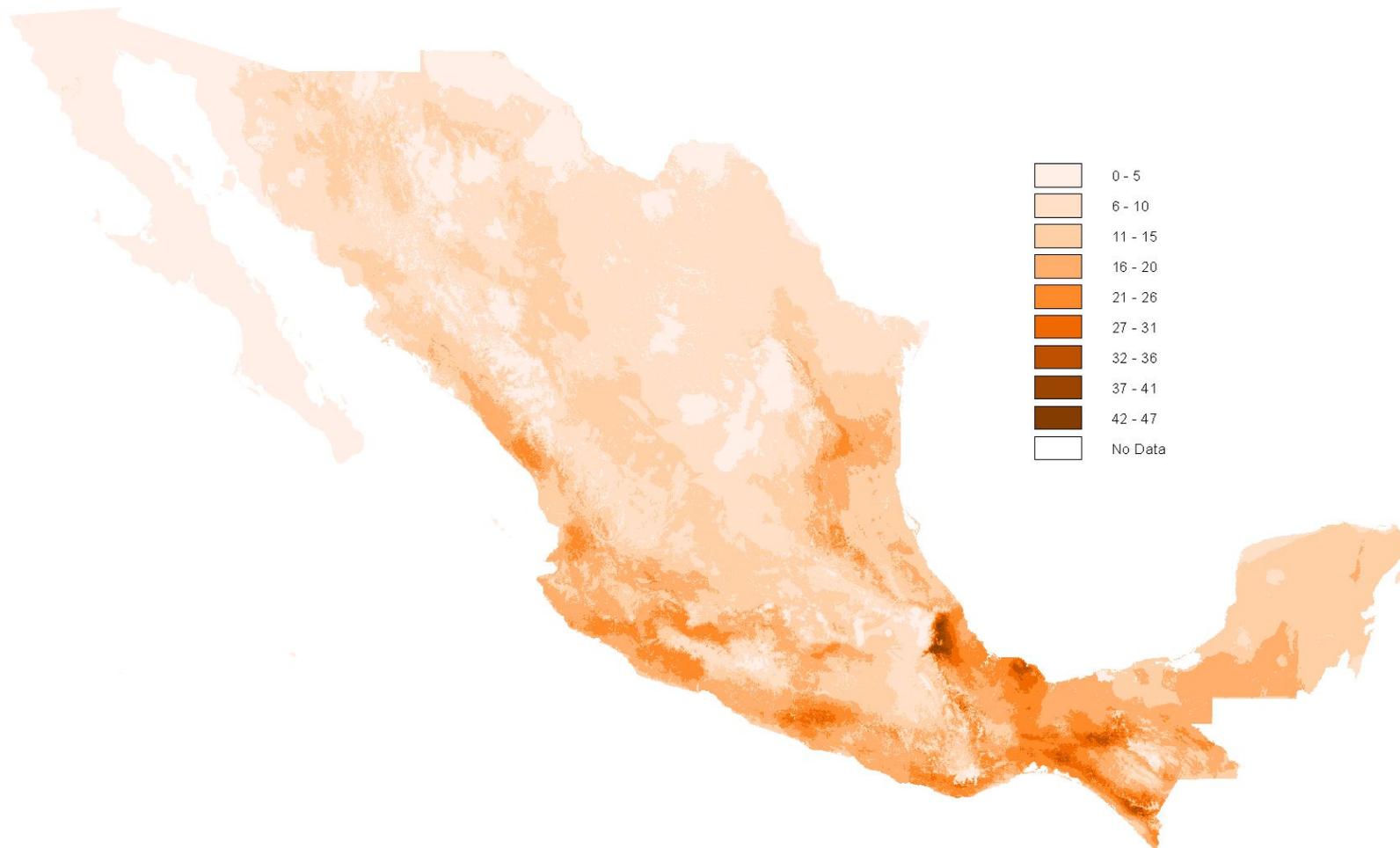
Complementariedad

Se obtuvieron 20 conjuntos complementarios de los cuales se escogió el número 10 para hacer una representación de los sitios necesarios para incluir por lo menos una vez a todas las especies de la herpetofauna de México. Los conjuntos complementarios seleccionados por el análisis son muy parecidos entre sí, es decir, comparten la mayoría de los sitios, aquellos lugares que varían entre los conjuntos se encuentran principalmente en el noreste del territorio.

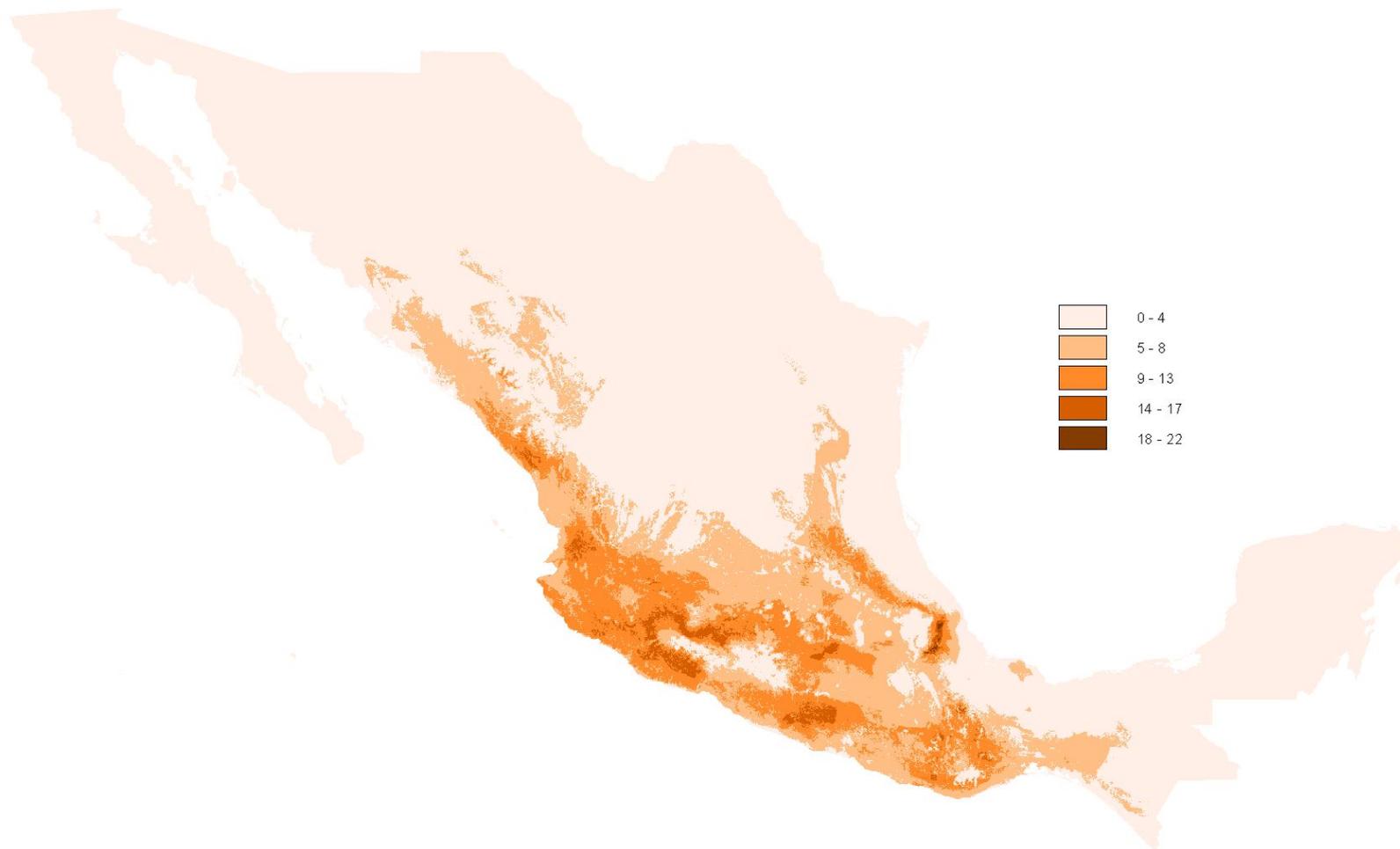
Al hacer el análisis de correspondencia encontramos que 52 de los sitios complementarios caen dentro o tienen parte de su área dentro de una reserva. Estos sitios representan a casi el 31% del conjunto, la relación que tiene con la herpetofauna representada no es directa, en estos 52 sitios se encuentran 637 especiesⁱ que corresponden al 63% de la herpetofauna del país. En el análisis de correspondencia con las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP's) encontramos que 90 unidades del conjunto complementario tienen área o caen dentro de las RTP's, y en estos lugares existen 801

ⁱ* Se debe recordar que estamos hablando de registros históricos, ya que trabajamos con bases de datos, los cuales no necesariamente representan la riqueza por sitio que pudiera estar presente en la actualidad.

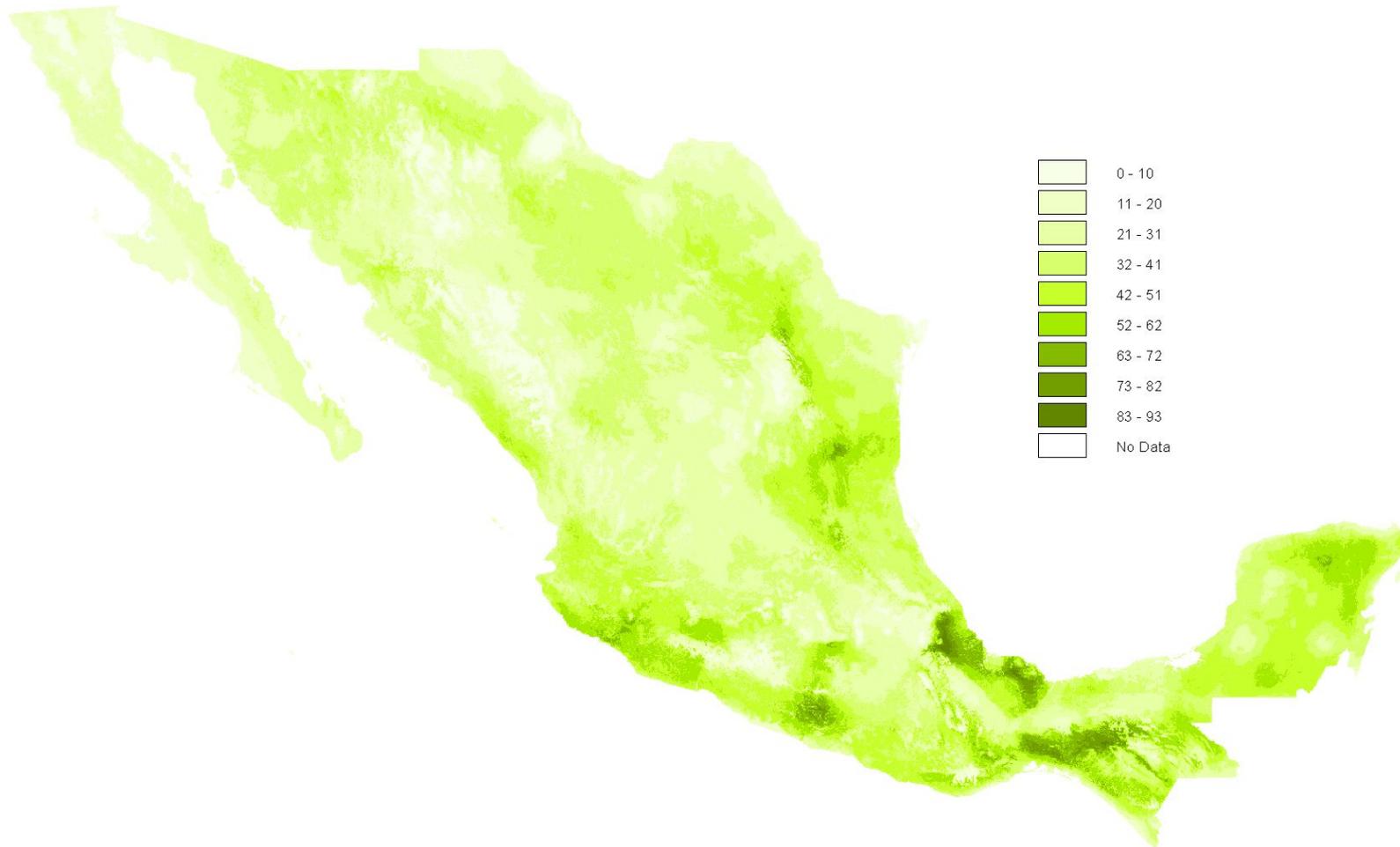
especies* que corresponden al 79.2% de la herpetofauna, sin embargo cabe mencionar que estos sitios no están protegidos oficialmente.



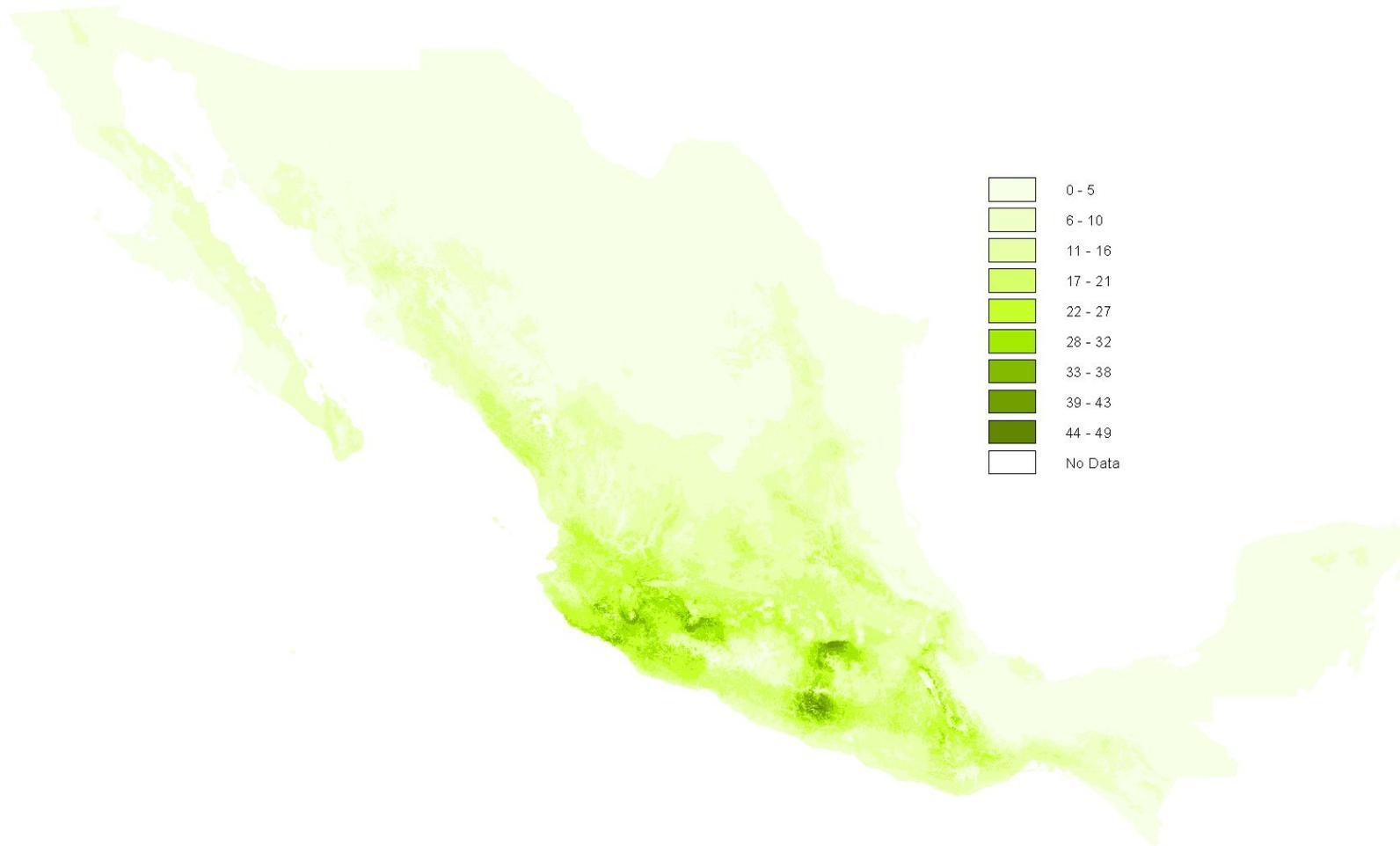
Mapa 1. Mapa de riqueza de anfibios de la República Mexicana



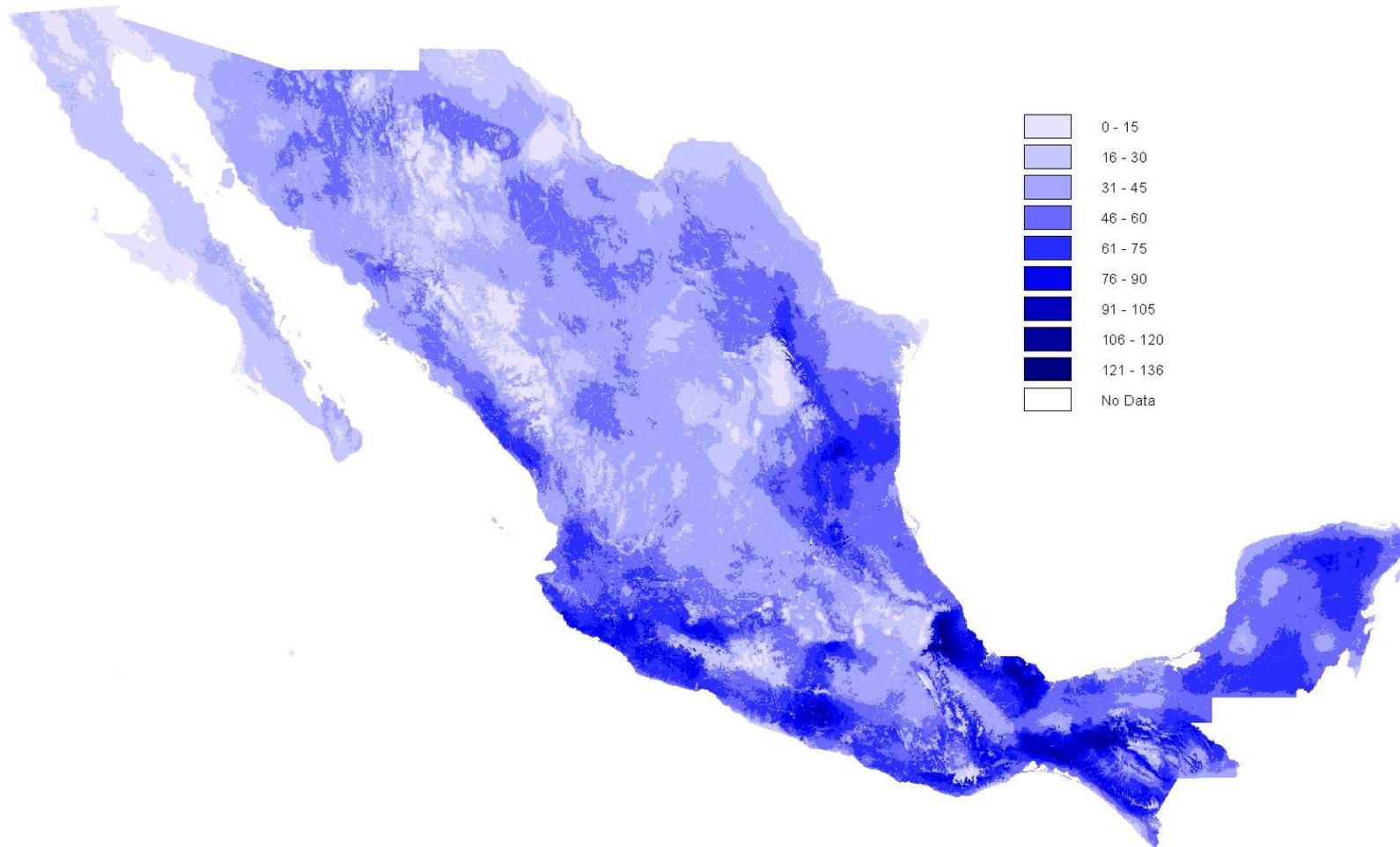
Mapa 2. Mapa de riqueza de anfibios endémicos de la República Mexicana.



Mapa 3. Mapa de riqueza de reptiles de la República Mexico.



Mapa 4 Mapa de reptiles endémicos de la República Mexicana.



Mapa 5. Mapa de riqueza de la herpetofauna Mexicana.



Mapa 6. Sitios seleccionados con Marxan, cumpliendo la meta de proteger el 80% del área de las especies pertenecientes al primer cuartil de la gráfica de distribución de frecuencias, 60% para las especies del segundo, 40% para las del tercero y finalmente 20% para las del último.



Mapa 7. Sitios seleccionados con Marxan, cumpliendo la meta de proteger el 40% del área de las especies pertenecientes al primer cuartil de la gráfica de distribución de frecuencias, 30% para las especies del segundo, 20% para las del tercero y finalmente 10% para las del último.



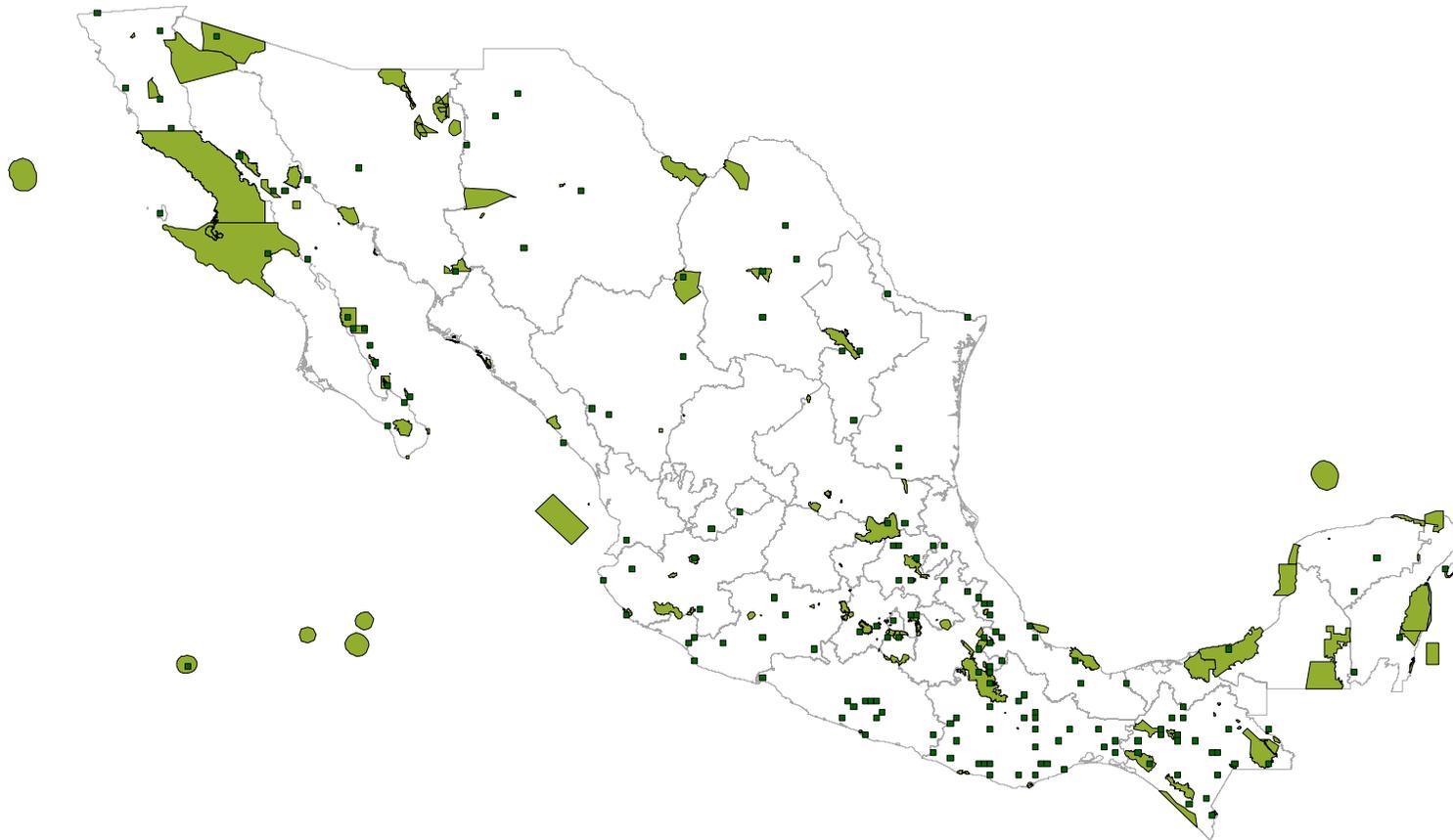
Mapa 8. Sitios seleccionados con Marxan, cumpliendo la meta de proteger el 20% del área de las especies pertenecientes al primer cuartil de la gráfica de distribución de frecuencias, 15% para las especies del segundo, 10% para las del tercero y finalmente 5% para las del último.



Mapa 9. Sitios seleccionados con Marxan, cumpliendo la meta de proteger el 10% del área de las especies pertenecientes al primer cuartil de la gráfica de distribución de frecuencias, 7.5% para las especies del segundo, 5% para las del tercero y finalmente 2.5% para las del último.



Mapa 10. Conjunto de sitios seleccionados en el análisis de complementariedad donde se encuentran representada al menos una vez cada especie de las 1012 especies de la herpetofauna mexicana incluidas en el análisis.



Mapa 11. Conjunto de sitios seleccionados por el análisis de complementariedad sobrelapado con las Áreas Naturales Protegidas.



Mapa 12. Conjunto de sitios seleccionados por el análisis de complementariedad sobrelapado con las Regiones Terrestres Prioritarias.

Discusión

El futuro ya no es lo que era.

Elegir un conjunto de sitios prioritarios a conservar siempre es complejo, ya que se deben tomar en cuenta todos los aspectos involucrados en la conservación, el social, económico y el biológico. Sin embargo, cuando pretendemos utilizar esta información resulta que la mayoría de las veces no existe o se encuentra incompleta o hay que hacer una serie de supuestos con los que tenemos que lidiar. Marxan se presenta como uno de los programas innovadores ya que puede incorporar a la selección de áreas los tres aspectos antes mencionados. Esto lo hace ser un programa idóneo para un ejercicio como el que aquí se presenta. La salvedad de usar Marxam está en que los costos se asignan de forma arbitraria y es muy difícil definirlos objetivamente. Para el presente ejercicio, los costos se definieron en varios talleres organizados por la CONABIO, lo que permitió que éstos fueran consensuados y no sólo reflejen un punto de vista individual.

Por otro lado, al observar las diferencias en los resultados de los análisis realizados con el Marxan surge de nuevo la cuestión acerca de la fiabilidad de los criterios establecidos para conservar. Se ha establecido tradicionalmente que con conservar el 10% de la superficie de un país es suficiente para lograr las metas de conservación. En el último análisis hecho, el resultado queda un poco por arriba de ese porcentaje, sin embargo surge la pregunta ¿es suficiente conservar el 10% del área de distribución de una especie microendémica?, o más aún ¿es adecuado preservar el 2.5% del área de distribución de una especie de ampliamente distribuida? Desafortunadamente, no tenemos suficiente información para responder esta pregunta con certeza.

En el segundo análisis realizado, con el principio de máxima eficiencia en complementariedad se seleccionaron 168 sitios de alrededor de 190 km², con los que se conserva un poco más del 1.5% del territorio, esta meta a conservar parece realizable. Sin embargo, se sabe que conservar sólo una población de una especie no es suficiente y reservas que se han establecido bajo este concepto han experimentado tasas de extinción hasta del 30% (Rodrigues et al. 2000). No obstante, esta puede ser una primera aproximación a un sistema eficiente de reservas, contra uno oportunista.

Cabe notar que en el esquema de polígonos complementarios, están representados todos los estados del país con la excepción de Aguascalientes y Guanajuato, aunque existen varios estados con muy pocas áreas representadas, éstos son: Sonora, Sinaloa, Nayarit, Zacatecas, San Luis Potosí, Querétaro, Tabasco y Campeche. Los estados en donde se concentra la mayoría de los sitios a conservar son: Oaxaca, Chiapas, Guerrero y Veracruz. Éstos son los estados con mayor riqueza de especies y de endemismos (Flores-Villela, 1991; Ochoa-Ochoa y Flores-Villela, 2006; Ochoa-Ochoa, 2006).

En el caso de las especies microendémicas, la propuesta de los cuadros complementarios derivados del análisis con Marxan, puede ser una propuesta muy razonable, pues existe un gran número de especies en esta categoría que sólo se conocen de unas cuantas localidades muy cercanas unas de otras. Esto es aplicable a muchos grupos de ranas y salamandras en particular y sobre todo a aquellas especies habitantes de los estados de Oaxaca, Guerrero y Chiapas principalmente.

De los polígonos complementarios, un conjunto pequeño de ellos cae dentro de las ANP's, sin embargo la mayoría de estos cae sobre las RTP's de la COANBIO. Esto refuerza que diferentes metodologías de análisis llevan a resultados similares. Cabe resaltar que las RPT, fueron propuestas en gran medida con base en el conocimiento de los especialistas de diferentes grupos de plantas y animales, por lo que es de esperarse que análisis similares con otros grupos arrojen resultados semejantes al presente.

Trabajar con bases de datos plantea una serie de problemas que no son fáciles de solucionar o minimizar. El más documentado es el referente a los registros acumulados en el tiempo, o alfas acumuladas. Esto conlleva a suponer una estasis en las comunidades, lo cual sabemos no necesariamente es cierto, además de la dinámica natural existe otra inducida por los cambios sobre el uso de suelo por causas antropogénicas y nos enfrentamos a muchos supuestos como permanencia de la especie en sitios históricos de ocurrencia, sitios potenciales de distribución basados solamente en características climáticas (no importa que se hagan recortes o ediciones posteriores), y el supuesto más grande, suponer la estasis en el tiempo a futuro de las comunidades al momento planear un sistema de reservas. Entonces, se debe tomar en cuenta que los resultados planteados aquí tienen los supuestos antes mencionados por lo cual se tiene que tener precaución al momento de hacer aseveraciones rotundas, sin embargo,

insistimos, son aproximaciones muy interesantes que se pueden y deben comenzar a utilizar para lograr buenas metas en la conservación.

Agradecimientos

A Luis Bernardo Vázquez por su ayuda en los análisis de complementariedad.

Literatura Citada

- Anaya, A. L., J. Arevalo, E. M. Hentschel, J. J. Consejo & D. Gutiérrez. 1992. Las áreas naturales protegidas como alternativa en la conservación: bosquejo histórico y problemática en México, pp:15-38. En: Anaya A. L. (Coord.) Las Áreas Naturales Protegidas de México. SEDUE, México.
- Arita, H. y P. Rodríguez. 2002. Geographic range, turnover rate and the scaling of species diversity. *Ecography* 25: 541-550.
- Ball, I. R., Smith, A., Day, J. R., Pressey, R. L., Possingham, H. 2000. Comparison of Mathematical Algorithms for the Design of a Reserve System for Nature Conservation: An Application of Genetic Algorithms and Simulated Annealing. *Journal of Environmental Management*.
- ESRI. 1999. Arc View 3.2 GIS. Environmental Systems Research Institute. Inc. New York. EUA
- Faivovich, J.; C. F. B. Haddad; P. C. A. Garcia, D. R. Frost; J. A. Campbell, y W. C. Humphries, C. J., R. I. Van Wright & P. H. Williams. 1991. Biodiversity reserves: Setting new priorities for the conservation of wildlife. *Parks*, 2: 34-38.
- Flores-Villela, O. A. 1991. Análisis de la distribución de la herpetofauna de México. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. UNAM, México.
- Flores Villela, O. 1993a. Herpetofauna Mexicana. Special Publications Carnegie Museum of Natural History, (17): 1-73.
- Flores Villela, O. 1993b. Herpetofauna of México: Distribution and Endemism Cap. 7:253-280. *in*. Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot and J.Fa. (eds). Biological diversity of Mexico: origins and distributions. Oxford Univ. Press. New York.
- Flores-Villela, O. y L. Canseco-Márquez. 2004. Nuevas especies y cambios taxonómicos para la herpetofauna de México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 20(2):115-144.

- Frankham R., J. Ballou, y D., Briscoe., 2004. *A Primer of Conservation Genetics*. 220pp. Cambridge University Press.
- Frost, D. R.; T. Grant; J. Faivovich; R. H. Bain; A. Haas; C. F. B. Haddad; R. O. de Sá; A. Channing, M. Wilkinson; S. C. Donnellan; C. J. Raxworthy; J. A. Campbell; B. L. Blotto; P. Moler; R. C. Drewes; R. A. Nussbaum; J. D. Lynch; D. M. Green; y W. C. Wheeler. 2006. The amphibian tree of life. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 297:1-370.
- Humphries, C. J., R. I. Van Wright & P. H. Williams. 1991. Biodiversity reserves: Setting new priorities for the conservation of wildlife. *Parks*, 2: 34-38.
- ILOG. 1999. CPLEX 6.5. Gentilly, France. ILOG
- Ochoa-Ochoa, L. y O. Flores-Villela. 2006. Áreas de diversidad y endemismo de la herpetofauna mexicana. UNAM-CONABIO. México, D.F. 211 p.
- Ochoa-Ochoa, L. 2006. Análisis de patrones de la Herpetofauna de México. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pressey, R. L., Johnson, I. R. y P.D. Wilson. 1994. Shades of irreplaceability towards a measure of contribution of sites to a reservation goal. *Biodiversity and conservation*. 3: 242 – 262.
- Possingham, H. Ball, I. and Andelman, S. 2000. Mathematical methods for identifying representative reserve networks. Pages 291-305 in: Ferson, S. and Burgman, M. (Eds). *Quantitative methods for conservation biology*. Springer-Verlag, New York.
- Rabinowitz, D., S. Cairns, and T. Dillon. 1986. Seven forms of rarity and their frequency in the flora of the British Isles. Pages 182-204. In M. E. Soulé (Ed.) *Conservation biology: The science of scarcity and diversity*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Rodrigues, A. S., J. Orestes C. & K. J. Gaston. 2000b. Flexibility, efficiency and accountability: adapting reserve selection algorithms to more complex conservation problems. *Ecography*, 23: 565–574.
- Stockwell D.R.B. y D. Peters 1999. The GARP Modeling System: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science* 13:2 143-158.