



---

---

## **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN  
PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
UNIDAD-OAXACA**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y  
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES  
(BIODIVERSIDAD DEL NEOTRÓPICO)**

**“Modelación de la distribución geográfica potencial de  
los roedores endémicos de Oaxaca”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**M A E S T R O E N C I E N C I A S**

**PRESENTA:**

**DAVID DE JESÚS SOSA LURÍA**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. JOSÉ ANTONIO SANTOS MORENO**

Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca.

Julio de 2009



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO**

*ACTA DE REVISION DE TESIS*

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 13:00 horas del día 22 del mes de junio del 2009 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAXACA)** para examinar la tesis de grado titulada: **"Modelación de la distribución geográfica potencial de los roedores endémicos de Oaxaca"**.

Presentada por el alumno:

<b>Sosa</b> Apellido paterno	<b>Luría</b> materno	<b>David de Jesús</b> nombre(s)							
Con registro: <table border="1"><tr><td>B</td><td>0</td><td>6</td><td>1</td><td>4</td><td>3</td><td>1</td></tr></table>			B	0	6	1	4	3	1
B	0	6	1	4	3	1			

aspirante al grado de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA  
Director de tesis

Dr. José Antonio Santos Moreno

M. en C. Sonia Trujillo Argueta

M. en C. Graciela Eugenia González Pérez

Dr. Enrique Martínez Meyer

M. en C. Claudia Ballesteros Barrera

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

Dr. Juan Rodríguez Ramírez





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*CARTA CESION DE DERECHOS*

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día **22** del mes **junio del año 2009**, el (la) que suscribe **Sosa Luría David de Jesús**, alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con número de registro **B061431**, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. José Antonio Santos Moreno y cede los derechos del trabajo titulado: **“Modelación de la distribución geográfica potencial de los roedores endémicos de Oaxaca”**., al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca**, e-mail: [posgradoax@ipn.mx](mailto:posgradoax@ipn.mx) ó [david\\_sosa24@hotmail.com](mailto:david_sosa24@hotmail.com) Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

**Sosa Luría David de Jesús**



INSTITUTO POLITÉCNICO  
NACIONAL  
CIDR-UNIDAD-OAXACA

## RESUMEN

Se realizó la modelación de la distribución geográfica potencial de los roedores endémicos de Oaxaca, a través del algoritmo genético GARP (Genetic Algorithmic for Rule-Set of Prediction), con la finalidad de hacer una comparación referente a las áreas de protección de la biodiversidad en el estado.

Se utilizaron las bases de datos recabadas de las colecciones científicas, con lo que se obtuvo que tanto para las Áreas Naturales Protegidas y Áreas de Conservación Certificada, la sobreposición de los roedores es significativamente baja, tanto en la distribución real como potencial, en contraste para las Regiones Terrestres Prioritarias y Sistema Estatal de Conservación de Áreas Naturales, la representación es mucho mayor que para las anteriores sin olvidar que las dos son propuestas que difícilmente se ponen en acción.

Se determinó un área donde convergieran la mayoría de especies, así como que esa área tuviera la mayoría de características para que las especies pudieran realmente habitarla, con lo que se determinó una parte del municipio de Ixtlán y San Pedro Yaneri donde convergieron 8 de 9 especies de roedores, la vegetación y el rango de altitudes son adecuadas a la distribución potencial de los roedores endémicos de Oaxaca.

Por lo tanto con los resultados obtenidos, se determinó que este tipo de trabajos son altamente predictivos, además que fortalecen las metodologías para la determinación de áreas que son prioritarias a conservar, así mismo se puede verificar la confiabilidad de las herramientas. No obstante se recomienda que en trabajos posteriores se realice a una escala más local con el fin de reducir los sesgos en la información

## **Abstract**

It was carried the modeling of the distribution geographical potential of the endemic rodents of Oaxaca, through the genetic algorithm GARP (Genetic Algorithmic for Rule-Set of Prediction), with the purpose to referring comparison to the areas of protection of the biodiversity in the state.

The databases obtained of the scientific collections were utilized, with what was obtained that so much for the Natural Areas Protected and Certificate Conservation Areas, the superimposing of the rodents is significantly low, so much in the real distribution as potential, in contrast for the Priority Terrestrial Regions and State System of Conservation of Natural Areas, the representation is a lot greater that for the previous without forgetting that the two they are proposals that with difficulty are put in action.

An area was determined where to converge the majority of species, thus since that area had the majority of characteristics so that the species really could inhabit it, with what determined a part of the municipality of Ixtlán and San Pedro Yaneri where they converged 8 of 9 species of rodents, the vegetation and the rank of altitudes they are adequate to the potential distribution of the endemic rodents of Oaxaca.

Therefore with the results obtained, was determined that this type of works they are highly predictive, besides that fortify the methodologies for the decision of areas that are priority to conserve, thus same the reliability of the tools can be verified. Nevertheless it is recommended that in subsequent works be carried out to a more local scale in order to reducing the slants in the information

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. José Antonio Santos Moreno, por haber dirigido la presente tesis, por la enseñanza y orientación dada, muchas gracias

Al CONACYT por la beca otorgada para la realización de mis estudios de Maestría.

A los miembros de la comisión revisora de tesis: Dr. Enrique Martínez Meyer, M. en C. Claudia Ballesteros Barrera, M. en C. Graciela Eugenia Gonzáles Pérez, M. en C. Sonia Trujillo Argueta, Dra. Martha Demetria Mondragón Chaparro, por sus comentarios y sugerencias para la mejora del presente trabajo.

A los compañeros de maestría.

A mis padres por su apoyo incondicional y ánimos para salir adelante.

A mis hermanos y hermanas por su apoyo.

A Martha por su amor y paciencia brindados.

Y gracias a Dios.

## **INDICE**

<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
Problemas de la conservación	1
Distribución de las especies	2
Concepto de nicho ecológico	3
Modelado del nicho Ecológico	5
Estudios del modelado de nicho ecológico	7
Generalidades de los roedores endémicos de Oaxaca	9
Áreas prioritarias para la conservación	14
Áreas Naturales Protegidas	14
Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas	16
Regiones Terrestres Prioritaria	17
Áreas de Conservación Certificada	17
Sistema estatal de Conservación de Áreas Naturales.	18
<b>JUSTIFICACION</b>	19
<b>OBJETIVOS</b>	20
Objetivo general	20
Objetivos específicos	20
<b>MÉTODOS</b>	21
Datos de localidades de la especies	21
Modelado de nicho	21
Validación estadística del modelo	23
Determinación del área de mayor representatividad	24
<b>RESULTADOS</b>	25
Validación estadística	25
Modelado de nicho ecológico	25
Área propuesta	30
<b>DISCUSIÓN</b>	32
<b>CONCLUSIONES</b>	35
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	36
<b>ANEXO 1</b>	43
<b>ANEXO 2.</b>	60

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Áreas Naturales protegidas de Oaxaca	44
Figura 2	Regiones terrestres prioritarias para el estado de Oaxaca	45
Figura 3	Áreas de conservación certificada en el estado de Oaxaca	46
Figura 4	Sistema Estatal de Conservación de Áreas naturales en el estado de Oaxaca propuestas por el IEEO	47
Figura 5	Distribución potencial con base en el modelado de nicho de <i>Habromys ixtlani</i> , en las Áreas Naturales Protegidas, Áreas de Conservación Certificada, Áreas Propuestas por SECAN, Regiones Terrestres Prioritarias	48
Figura 6	Distribución potencial con base en el modelado de nicho de <i>Habromys chinanteco</i> , en las Áreas Naturales Protegidas, Áreas de Conservación Certificada, Área Propuestas por SECAN, Regiones Terrestres Prioritarias	49
Figura 7	Distribución potencial con base en el modelado de nicho de <i>Habromys lepturus</i> , en las Áreas Naturales Protegidas, Áreas de Conservación Certificada, Áreas Propuestas por SECAN, Regiones Terrestres Prioritarias	50
Figura 8	Distribución potencial con base en el modelado de nicho <i>Peromyscus melanocarpus</i> , en las Áreas Naturales Protegidas, Áreas de Conservación Certificada, Áreas Propuestas por SECAN, Regiones Terrestres Prioritarias	51
Figura 9	Distribución potencial con base en el modelado de nicho de <i>Peromyscus melanurus</i> , en las Áreas Naturales Protegidas, Áreas de Conservación Certificada, Áreas Propuestas por SECAN, Regiones Terrestres Prioritarias	52
Figura10	Distribución potencial con base en el modelado de nicho de <i>Microtus oaxacensis</i> , en las Áreas Naturales Protegidas, Áreas de Conservación Certificada, Áreas Propuestas por SECAN, Regiones Terrestres Prioritarias	53
Figura 11	Distribución potencial con base en el modelado de nicho de <i>Microtus Umbrosus</i> , en las Áreas Naturales Protegidas, Áreas de Conservación Certificada, Área Propuestas por SECAN, Regiones Terrestres Prioritarias	54
Figura 12	Distribución potencial con base en el modelado de nicho de <i>Rheomys mexicanus</i> , en las Áreas Naturales Protegidas, Áreas de Conservación Certificada, Áreas Propuestas por SECAN, Regiones Terrestres Prioritarias	55
Figura 13	Distribución potencial con base en el modelado de nicho de <i>Megadonthomys cryophilus</i> , en las Áreas Naturales Protegidas, Áreas de Conservación Certificada, Áreas Propuestas por SECAN, Regiones Terrestres Prioritarias	56
Figura 14	Área donde convergen la distribución potencial de ocho especies de roedores, en el municipio de Ixtlan y San Pedro Yaneri	57
Figura 15	Tipos de vegetación para el área de convergencia	58
Figura 16	Tipos de vegetación en el área propuesta a conservar.	59



## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Áreas Naturales Protegidas Decretadas para el estado de Oaxaca	61
Cuadro 2	Áreas Naturales Protegidas ingresadas al SINAP en Oaxaca	62
Cuadro 3	Regiones Terrestres Prioritarias para Oaxaca	63
Cuadro 4	Áreas naturales a proteger en Oaxaca propuestas por el Instituto Estatal de Ecología del Estado de Oaxaca	64
Cuadro 5	Base de datos de las localidades de registro de los roedores endémicos de Oaxaca	65
Cuadro 6	Variables utilizadas en el modelado de nicho	66
Cuadro 7	Validación estadística de los modelos generados en <i>GARP</i>	67
Cuadro 8	Validación estadística de los modelos generados en <i>GARP</i>	68

## INTRODUCCIÓN

### Problemas de la conservación

México es considerado un país megadiverso y está catalogado dentro de los 25 en el mundo con excepcionales concentraciones de especies endémicas (Mittermeier *et al.*, 1998; CONABIO, 2008). La transformación de hábitat y tipos de vegetación naturales en sistemas de cultivo o asentamientos humanos imponen grandes retos para la conservación de su enorme diversidad biológica. La elevada tasa de deforestación, relacionada con el acelerado cambio de uso de suelo, impacta negativamente la permanencia de la biodiversidad de nuestro país (Sánchez-Cordero *et al.*, 2008).

Algunos de los esfuerzos de conservación han estado enfocados a proteger únicamente a aquellas especies que son más conspicuas o carismáticas, las especies características que dan identidad a cierto país tienen cierta importancia cultural o las especies que han sido clasificadas en alguna categoría de riesgo (extinta en estado silvestre, en peligro crítico, en peligro, vulnerable, etc.) Se han realizado esfuerzos de conservación de los mamíferos terrestres a nivel mundial, algunos de ellos relacionados con el área de distribución de las especies, empleando información histórica de colecciones biológicas (Cuzin 1996). Los estudios previos de mamíferos terrestres de México revelan que gran número de especies son vulnerables a la extinción, y pocas han sido clasificadas por las organizaciones internacionales como en peligro o amenazadas (Ceballos y Navarro 1991; López-Wilchis *et al.*, 1992).

El Estado de Oaxaca, presenta una gran variedad fisiográfica, climática, florística y faunística (Álvarez, 1994; Arellanes, 1996; Goodwin, 1969; Rzedowski, 1978), razones por las que se le ha considerado como un estado de megadiversidad. Entre otras cosas, cuenta con el mayor número de vertebrados endémicos (536 especies; Flores y Gerez, 1989), y es el primero en número de mamíferos (Ramírez-Pulido, *et al.*, 1986). A pesar de estas características, existen extensas zonas en su territorio sin explorar y con una

gran cantidad de ecosistemas amenazados, principalmente por la destrucción o alteración del hombre.

Se ha realizado estudios para saber acerca de los mamíferos endémicos en Oaxaca en estudios recientes encontraron un total de 33 taxones (especies y subespecies) endémicas de Mesoamérica, 25 especies y subespecies endémicas de México y 39 endémicos de Oaxaca; de estos 12 son a nivel específico (una musaraña, *Cryptotis magna*, una tuza, *Orthogeomys cuniculus*; nueve roedores, *Microtus oaxacensis*, *M. umbrosus*, *Habromys chinanteco*, *H. ixtlani*, *H. lepturus*, *Megadonthomys cryophilus*, *Peromyscus melanocarpus*, *P. melanurus*, *Rheomys mexicanus* y un lagomorfo, *Lepus flavigularis*) y 27 a nivel subespecífico. La mayoría de de las especies endémicas de Oaxaca corresponde a mamíferos de tamaño pequeño (menos de 300 g; e.g., *Megadonthomys cryophilus*) y solo la liebre tropical, *Lepus flavigularis*, se encuentra por arriba de este peso (Briones-Salas y Sánchez- Cordero, 2004).

De los 39 taxones endémicos 30 pertenecen al orden Rodentia (77%), 10 a nivel específico y 20 a nivel subespecífico. Los restante nueve pertenecen a dos subespecies de la familia Marmosidae, una especie y dos subespecies del orden Insectívora, dos subespecies del orden Carnívora, una subespecie del orden Artiodactyla y una especie del orden Lagomorpha. La mayoría de los taxones endémicos de Oaxaca se localizan principalmente en bosques mesófilos de montaña y bosques de coníferas, en altitudes mayores a los 1000 m, excepto *Lepus flavigularis*, que se distribuye entre los 0 y 500 metros sobre el nivel del mar (Briones-Salas y Sánchez- Cordero, 2004).

### **Distribución de las especies**

El estudio de la distribución de especies y de las causas que la afectan representa la base para futuras investigaciones y dirección de esfuerzos de conservación (MacArthur, 1972; Mace y Lade, 1991). . Una forma de mejorar la calidad de la información con la que se cuenta para identificar sitios prioritarios para su conservación consiste en generar mapas de distribuciones de especies

y procesos ecológicos y utilizar estos mapas para identificar sitios con una alta riqueza de especies (Margules y Pressey, 2002).

El área de distribución de una especie es una expresión compleja de su ecología e historia evolutiva (Brown 1995), determinada por diversos factores operando con diferentes intensidades a diferentes escalas (Gastón, 2003; Pearson y Dawson 2003). Cuatro clases de factores determinan el área en la cual una especie puede ser encontrada:

1) Condiciones abióticas, incluyendo aspectos de clima, ambiente físico, condiciones edáficas, etc., que imponen límites fisiológicos en la habilidad de las especies para persistir en un área.

2) factores bióticos, la serie de interacciones con otras especies que modifican la habilidad de la especie para mantener sus poblaciones. Estas interacciones pueden ser tanto positivas (mutualismos, tales como dispersores de semillas, polinizadores, etc.) o negativa (competidores, depredadores, enfermedades). Por la limitación o incremento de los procesos poblacionales, las interacciones pueden obviamente afectar la distribución.

3) Las regiones que son accesibles para dispersarse por la especie de un área original. Este factor es bastante usado para distinguir la distribución actual de una especie de su distribución potencial, basada en la configuración del paisaje y las habilidades de dispersión de la especie.

4) La capacidad evolutiva de las poblaciones de las especies para adaptarse a nuevas condiciones. Este factor usualmente reservado de análisis o asumido como insignificante es sin embargo una consideración adicional e importante en cuanto a las posibilidades de distribución de las especies. En teoría (Holt 1996, Holt y Gaines 1992; Holt y Gomulkiewicz 1996; Kawecki 1995), y en los limitados experimentos llevados a cabo (Etterson y Shaw 2001), efectos de la evolución en parámetros de nicho periodos aparentemente menor de tiempo.

### ***Concepto de nicho ecológico***

El conjunto de condiciones bióticas y abióticas que determinan la presencia y persistencia de una especie es conocido como su nicho ecológico (Hutchinson, 1957). El concepto de nicho ecológico tiene diversos enfoques que se

desarrollaron desde principios del siglo XX, destacando las ideas de Grinnell (1917, 1924) consideró al nicho como una subdivisión del hábitat; la unidad de distribución última donde se encuentra la especie. Posteriormente, Elton (1927) propuso un concepto diferente y lo define como el papel que desempeña un organismo en términos de sus relaciones con el alimento y sus competidores. Más tarde, Hutchinson (1957) elabora un concepto de nicho también abstracto, pero cuantitativo y por lo tanto medible. Lo define como el conjunto de interacciones bióticas y abióticas en un hiperespacio de n-dimensiones, donde las poblaciones de una especie pueden subsistir indefinidamente; a este hipervolumen lo denominó nicho fundamental. Sin embargo, en muchos casos las especies no ocupan en su totalidad este espacio multidimensional, y la parte ocupada del nicho fundamental la denominó como nicho realizado (Schoener, 1989).

Chase et al. (2003) argumentan que el nicho de una especie es la conjunción de las condiciones ambientales que permiten a una especie satisfacer sus mínimos requerimientos, de manera que la tasa de nacimientos de una población local sea igual o mayor que la de muertes, teniendo en cuenta los efectos del medio sobre cada individuo.

Las relaciones interespecíficas involucran la interacción entre dos o más especies en la que, como en el caso de la competencia y depredación, una se ve afectada negativamente y por lo tanto forzada a realizar cambios en su conducta o en su distribución, de tal forma que el efecto negativo que es ejercido sobre la especie menos dominante sea mínimo (Ralls, y White, 1995; Anderson et al., 2002; Lynn-Nelson, 2005). La disponibilidad de alimento también es una fuerte limitante en la distribución geográfica de la mayoría de las especies (Todd y Keith, 1993; Litvaitis et al., 1986; White y Ralls, 1993). En este sentido, cada especie se ve limitada por condiciones bióticas o abióticas presentes en el área y la capacidad que cada organismo tiene de resistir condiciones extremas (tolerancia), le permite adaptarse a nuevos escenarios ambientales. Sin embargo, esta adaptación o plasticidad evolutiva es muy lenta, por lo que otra respuesta que presentan los animales y en términos generales es la más común, es la variación espacial en su distribución, lo que

les permite colonizar nuevas áreas que cumplan sus requisitos ecológicos y fisiológicos.

### **El modelado de nicho ecológico**

Recientemente, en la búsqueda de los mejores métodos para identificar áreas potenciales de distribución de especies se ha usado información referente a la localización de especímenes individuales. Sin embargo, para muchas especies, existe una relativa escasez de datos y poca disponibilidad de ellos, además de problemas relacionados con sesgos debidos a la limitada accesibilidad a los sitios (Peterson *et al.*, 1998). Considerando el enorme esfuerzo requerido para conocer los requerimientos de hábitat de cada especie, se han desarrollado algoritmos que modelan las distribuciones potenciales de especies con base en registros individuales de especímenes que cuentan con una alta precisión espacial. Estos modelos relacionan a los registros con las variables ambientales que ocurren en los sitios de los que provienen estos registros (Carroll *et al.*, 1999; Peterson y Cohoon, 1999; Cowley, 2000; Peterson *et al.*, 1998, 2002).

Se ha manifestado gran interés en el desarrollo de modelos cuantitativos de nichos de especies y relaciones especie-ambiente para caracterizar la distribución de especies puesto que permiten tomar decisiones con bases de datos limitadas. Los algoritmos usan estas bases de datos para generar resultados confiables (Grand *et al.* 2007). Hay varios métodos para estimar el MNE y con ello estimar la distribución potencial de las especies, incluyendo factores ambientales, entre los cuales se encuentran: modelos aditivos generalizados (*GAM*, Segurado y Araujo, 2004), redes neuronales (Venables y Ripley, 2002), espacio bioclimático (*BIOCLIM*, Lindenmayer *et al.*, 1991), análisis de componentes principales (*FloraMap*, Jones *et al.*, 1997), análisis de factores (*BIOMAPPER*, Hirzel, 2001), algoritmos genéticos (*DesktopGarp*, Stockwell y Noble, 1992; Stockwell, 1999; Stockwell y Peters, 1999), entre otros. A través de varios estudios, los resultados de estas diferentes técnicas han sido comparados (Segurado y Araujo, 2004). En esencia todos buscan asociaciones entre los puntos de localidades de presencia (y a veces de

ausencia) de las especies y datos ambientales para caracterizar las condiciones ambientales bajo las cuales es factible que la especie persista (i.e. su nicho ecológico); posteriormente, estas condiciones son localizadas en un espacio geográfico para producir un mapa de distribución potencial (Sánchez-Cordero et al., 2001; Soberón y Peterson, 2005).

Los puntos de localidades de presencia de las especies (localidades de registro), pueden ser obtenidos de colecciones científicas, datos de campo u otras fuentes. Es muy importante considerar las limitaciones de este tipo de información, por ejemplo: no contar con los datos precisos de los sitios de colecta, información incompleta, errores en la identificación de las especies o en su ubicación geográfica. Actualmente las bases de datos de los diferentes grupos taxonómicos están siendo depuradas para obtener una mayor confiabilidad y calidad en la información (Graham et al., 2004; Soberón y Peterson, 2004 y Stein y Wieczorek, 2004).

Un gran avance para el MNE es la generación de mapas o coberturas ambientales que definen las características sobre una región geográfica en particular. Sin embargo, para algunas partes del mundo no se encuentran a escalas adecuadas. Recientemente se han generado capas climáticas globales a una resolución lo suficientemente fina que permite hacer análisis a escalas regionales e incluso de paisaje (Chapman, 2005).

De todos los programas actualmente disponibles para modelar la distribución de las especies (Elith et al., 2006), GARP () es uno de los mas usados. Este es un algoritmo que determina características ecológicas y busca correlaciones no azarosas entre las localidades y las capas de información ambiental usando diferentes clases de métodos (e.g. atómica, regresión logística, de negación y por rangos) generando un mapa de predicción de acuerdo al nicho fundamental de la especie (Anderson, 2001).

## ***Estudios del modelado de los nichos ecológicos***

Los primeros estudios con algoritmos genéticos, que son métodos computacionales utilizados para resolver problemas considerados de difícil solución, los cuales involucran la búsqueda de soluciones óptimas dentro de un amplio universo de posibles soluciones (Anderson, *et al*, 2003), fueron iniciados por Holland en los años 60's (Holland, 1975), para probar el entendimiento de los procesos naturales de adaptación y diseñar sistemas artificiales con propiedades similares a los sistemas naturales (Rennard, 2000)

El modelado de nichos principalmente guía su investigación en tres líneas diferentes: a) aplicaciones novedosas para develar y entender patrones y procesos biogeográficos de la diversidad biológica; b) entender las fortalezas y debilidades de este enfoque; y c) el desarrollo de técnicas nuevas y más robustas, acompañadas de paquetes de cómputo (Martínez-Meyer 2006).

En años recientes, se ha manifestado gran interés en el desarrollo de modelos cuantitativos de nichos de especies y relaciones especie-ambiente para caracterizar la distribución de especies puesto que permiten tomar decisiones con bases de datos limitadas. Los algoritmos usan estas bases de datos para generar resultados confiables (Grand *et al.* 2007), en México se han realizado varios trabajos utilizando estas herramientas de modelado de nicho ecológico, sobre todo GARP bajo diferentes líneas de investigación.

Sánchez-Cordero *et al.* (2005) modelaron el nicho ecológico de las especies de roedores reservorios de hantavirus, y se proyectó en mapas para estimar distribuciones potenciales, usando localidades de colecta, mapas ambientales digitales, el algoritmo genético de cómputo GARP y un sistema de información geográfico. Se incluyeron distribuciones potenciales de tres especies conocidas como reservorios importantes de hantavirus en Estados Unidos, cuatro especies de roedores que se consideran reservorios potenciales del virus en México y de todas las demás especies del género *Peromyscus*. Las localidades geográficas de los casos de síndrome pulmonar causado por hantavirus (SPH) detectados en humanos en los Estados Unidos coincidieron de forma



significativamente mayor que en un modelo al azar, con las distribuciones potenciales de los tres roedores reservorios.

Sánchez-Cordero et al. (2003) modelaron la distribución geográfica potencial de los roedores que dañan las cosechas en el estado de Veracruz, con datos obtenidos de las colecciones biológicas, aunado a esto predijeron el daño para la cosecha de acuerdo a las zonas de distribución de los roedores.

Para el estado de Oaxaca se ha realizado algunos trabajos bajo el enfoque de modelado de nicho, a través de la utilización del algoritmo genético (GARP), obteniendo resultados importantes dirigidos hacia la conservación, obteniendo diversos resultados para el modelado.

En 2005 Illoldi Rangel analizó los patrones de distribución de los mamíferos del estado de Oaxaca a través de la evaluación de un algoritmo de modelado ecológico (GARP), en esta parte utiliza 17 especies de mamíferos, a partir de dichos modelos evaluó los patrones de distribución geográfica de todas las especies de mamíferos en el estado, encontrando cuatro patrones de distribución geográfica en todo el estado, también realizó un análisis de fragmentación de hábitat y distribución de especies endémicas y una propuesta de conservación para Oaxaca.

En 2006 de Villa Meza estudió las áreas prioritarias para la conservación de carnívoros en el estado de Oaxaca a partir del modelado de nicho ecológico y criterios de conservación, análisis de vegetación natural remanente con lo que determinó los grados de coincidencia entre los criterios de conservación propuestos y las Regiones Terrestres Prioritarias propuestas por CONABIO

Cinta Magallón en 2007 realizó un estudio de modelado de nicho ecológico a través del algoritmo genético (GARP) para jaguar (*Panthera onca*) y puma (*Puma concolor*) en la Sierra Madre de Oaxaca, a partir de 29 registros para jaguar y seis para puma con base a los resultados que obtuvo contrastó el modelo con datos obtenidos en campo, encontrando una diferencia significativa.

## **Generalidades de los roedores endémicos de Oaxaca**

### ***Habromys ixtlani* (Robertson y Musser, 1976).**

Es un ratón de tamaño mediano dentro de su género, externamente muy similar a *H. lepturus* pero mas grande en general, con la cola mas larga y mas bicolor y sin una mancha oscura en el metatarso. El pelo del dorso es suave, denso y conspicuamente largo de 5 a 6 mm de longitud. El dorso es de color café negruzco salpicado de tonos canela. El vientre es crema, con la base de los pelos gris plomo. Las orejas son oscuras, delgadas y cubiertas por pelitos cafés. Las patas son blancas. La cola es larga, casi la longitud de la cabeza y el cuerpo, peluda y bicoloreada, con la parte superior mas oscura (Goodwin 1964).

Se conoce exclusivamente del Cerro Machin, en la Sierra de Juárez. Este cerro se localiza en la parte norte de la Sierra de Zempoaltepetl. Localidad tipo: Cerro Machin, 5 kilómetros noreste de Macuiltianguis, Distrito de Ixtlán, Oaxaca, México, altitud 2952.7 metros sobre el nivel del mar (msnm) (Goodwin 1969).

Es una especie de aparentes hábitos semiarborícolas, la cual es común encontrar en el suelo. Habita en el bosque mesófilo de montaña y otros bosques húmedos de encino y pino, con un sotobosque denso con helechos, musgos, bromelias, líquenes y otras epífitas creciendo con profusión en los árboles, Se le ha colectado de 2500 a 3000 msnm (Robertson 1975).

### ***Habromys chinanteco* (Robertson y Musser, 1976)**

Es un ratón de tamaño pequeño dentro del género. El pelaje dorsal es de color pardo grisáceo y el abdomen blanco grisáceo. La cola es mas larga que la longitud del cuerpo, de un solo color y cubierta de pelo muy largo. Los dedos de las patas son blancos. Se distingue por presentar un anillo oscuro alrededor del ojo (Robertson, 1976). Se conoce de las laderas de la vertiente del Golfo de México, en Cerro Pelón en la Sierra de Juárez, distrito de Ixtlán, Oaxaca

(Goodwin, 1969). Habita en los bosques mesófilo de montaña, a elevaciones moderadas a altas. Es arborícola y se alimenta de semilla y material vegetal. Al parecer se reproduce durante los meses de febrero y julio. En las localidades de Vista Hermosa ocurre simpátricamente con *Habromys lepturus*, *Peromyscus melanocarpus*, *Megadonthomys cryophilus*, *Microtus mexicanus* y *Oryzomys alforoi* (Robertson, 1976).

### ***Habromys lepturus* (Merriam, 1898)**

Es un ratón de tamaño mediano de color oscuro, con el dorso café negruzco salpicado de color canela y una línea más marcada en los costados que empieza a la altura de los hombros; centralmente el pelaje es bicolor con la base de los pelos negra y las puntas color crema. Las orejas son oscuras, delgadas y cubiertas por pelillos cafés. Las patas delanteras son blancas y las posteriores son oscuras hasta la región tarsal. La cola es larga, casi la longitud de la cabeza y el cuerpo, peluda y frecuentemente bicoloreada, aunque puede ser de color oscuro uniforme (Goodwin, 1969; Osgood y Merriam, 1909; Robertson, 1975). Se distribuye exclusivamente en las partes más altas de la Sierra de Zempoaltepetl (Musser, 1969). Localidad tipo; Cerro Zempoaltepetl, altura 2690 msnm (Goodwin, 1969). Es de hábitos arborícolas y se encuentra en ambientes húmedos en donde predominan las epífitas. Al parecer usan las bromelias como refugio, aunque no se conocen sus hábitos alimenticios se considera que podrían ser omnívoros, alimentándose de frutos, semillas e insectos (Robertson, 1975). Se encuentra en los bosques húmedos de encino, pino y helechos (bosque mesófilo) en donde los árboles están cubiertos de bromelias, musgos, líquenes y otras.

### ***Peromyscus melanocarpus* Osgood, 1904**

Es un ratón de tamaño grande del subgénero *Peromyscus*. El pelaje es largo y suave, en su parte dorsal es café oscuro y en la parte ventral es de color grisáceo mezclado con blanco. La cola está cubierta de pelos cortos y grisáceos siendo un poco más claros en su parte ventral, las patas y manos son de color café parduzco hasta la base de los pulgares (Goodwin, 1969;

Huckaby, 1980; Osgood, 1904). Esta restringido a los bosques de montaña en el centro-norte de Oaxaca. Su distribución es discontinua y abarca dos segmentos, uno en el cerro Zempoaltepetl y otro en la ladera norte de la Sierra Juárez (Rickart y Robertson, 1985). Especímenes que han sido capturados en Cerro Zempoaltepec (Localidad tipo) y cerca de Totontepec, y en localidades entre 900 y 2800 msnm en la inclinación norte de la sierra Juárez. (Huckaby, 1980). Localidad tipo cerro Zempoaltepetl 2438 msnm, Oaxaca (Goodwin, 1969). Esta especie se encuentra en el bosque húmedo de montaña, caracterizado por *Engelhardia mexicana*, *Liquidámbar styraciflua*, *Cyathea mexicanus*, y una variedad de helechos, orquídeas y briófitas. También esta en el bosque de neblina compuesto por *L. styraciflua*, *Bambusa sp*, *Pinus strobus* y varias especies de *Quercus* (Rickard y Robertson, 1985). Se encuentra desde 900 hasta 2800 msnm (Rickart y Robertson, 1985). Los bosques de montaña que habita esta especie se caracteriza por tener pendientes marcadas, suelos latericos, alta precipitación y una cubierta de musgo en el suelo del bosque. *P. melanocarpus* utiliza comúnmente como refugio las raíces expuestas de los árboles de estos bosques (Rickart y Robertson, 1985).

### ***Peromyscus melanurus***

Es un ratón de tamaño grande del subgénero *Peromyscus*. La coloración del dorso varía de café a ocre. Las patas y el vientre son de color blanco (Osgood 1909). La cola es considerablemente mas larga que el cuerpo y de color negro homogéneo. Es similar a *P. megalops*, pero es mas pequeño, con el pelaje mas corto, mas claro y el cráneo es de menor tamaño (Goodwin, 1969). Solo se conoce en las laderas de la Sierra Madre del Sur orientadas hacia el pacifico en Oaxaca (Musser y Carleton, 1993). Es probable que pueda encontrarse también en las montañas al oeste de Chilpancingo en Guerrero (Huckaby, 1980). Localidad tipo: Pluma Hidalgo, Oaxaca, altitud 1402 msnm (Goodwin, 1969). El tipo de vegetación en el que se la ha encontrado es el de pino-encino en las partes más altas de su distribución, y el bosque tropical subcaducifolio a menores altitudes (Baker y womochel, 1996). Se le encuentra desde 700 hasta 1900 msnm (Huckaby, 1980).

### ***Microtus oaxacensis* Goodwin, 1966**

Es un ratón de tamaño medio (Goodwin, 1966, 1969; Hall, 1981; Jones y Genoways, 1967). El pelaje es largo y suave y a veces lanudo. Los pelos dorsales son negros, finamente punteados ocráceos, El vientre es ligeramente más pálido y las patas son completamente negras, lo cual contrasta con el color de las uñas, que son amarillo blanquecinas. La cola es corta, más larga que las patas traseras y más corta que la longitud de cabeza y cuerpo; es ligeramente más corta en el dorso y tiene escaso pelo (Goodwin, 1966) Se distribuye en los alrededores de Vista hermosa, en la Sierra Juárez (Goodwin, 1966; Jones y Genoways, 1967). Localidad tipo: en bosque mesófilo de Taramundi, en un Rancho cerca de la villa de Vista Hermosa, entre Colotepec y valle nacional, 135 Km. Norte de la Ciudad de Oaxaca, distrito de Ixtlán, Oaxaca, México, altitud cerca de 1524m (Goodwin, 1966). Habitan en zonas húmedas con bosques mesófilos mezclados con algunos pinos (Goodwin, 1966; Hoffman y Koepl, 1985; Jones y Genoways, 1967). Sus poblaciones se encuentran aisladas en altas montañas (Johnson y Johnson, 1982), donde habitan un ambiente frío y húmedo, las condiciones de humedad y la cubierta vegetal son los factores que más influyen en su distribución local (Getz, 1985). La vegetación herbácea le proporciona cubierta y alimento, ya que su dieta consiste de vegetación verde (Getz, 1985). Comparte su hábitat con otros mamíferos pequeños como musarañas (*Sorex veraepacis*, *Cryptotis magna* y *Cryptotis mexicana*) y ratones (*Orizomys alfaroi*, *Reithrodontomys microdon*, *Peromyscus melanocarpus* y *Megadonthomys thomasi* (Jones y Genoways, 1967).

### ***Microtus umbrosus* Merriam, 1898**

Es un ratón grande. El pelaje es largo y suave con partes superiores uniformemente oscuras con café, pelos y partes inferiores negras con una capa de pelos finos (Bailey, 1900; Goodwin, 1969; Hall 1981; Hall y Cockrum; 1953). la cola es negro café, pelaje suave y relativamente largo, aproximadamente 33% de la longitud total. Es una especie relicto (Hoffman y Koepl, 1985; Martín, 1987) con una distribución limitada relativamente

pequeña (ca. 80 km<sup>2</sup>) en una montaña semi-aislada situada al sureste de el río Cajonos, Localidad tipo Cerro Zempoaltec, Oaxaca, 2439.36 m (Goodwin, 1969). Habita en bosque pino-encino, bosque-niebla, bosque mesófilo, selva tropical (Bailey, 1900; Getz, 1985 Hoffmann y Koepl, 1985). Sin embargo (Goldman 1951) reporto para una Subzona Tropical. El hábitat de Totontepec es un bosque de roble denso y claros de pastizal (Goodwin, 1969). Es asociado con un tipo de tierra bien-drenada (Getz, 1985). Vive en madrigueras y en túneles subterráneos amplios (Baley, 1900).

### ***Rheomys mexicanus* Goodwin, 1969**

Es un ratón con cola gruesa, bicoloreada, mas larga que la longitud de la cabeza y cuerpo; patas traseras largas, fuertemente bordeada con pelos largos a lo largo de ambos lados; patas delanteras pequeñas; pelaje largo, descuidado ocre-leonado; pelo ventral largo, grueso y lanudo (Goodwin, 1969). Habita en arroyos de montaña templada al sureste de Oaxaca, de San José Lachiguirí en el distrito de Miahuatlán al este de Unión Hidalgo en el distrito de Juchitán; rango altitudinal 1219.2 m. Localidad tipo, San José Lachiguirí, Distrito de Miahuatlán, Oaxaca, altitud de 1219.2m (Goodwin, 1969).

### ***Megadontomys cryophilus* Musser, 1964**

Es un ratón de tamaño grande en comparación con el genero *Peromyscus*. En relación con las otras especies del género el rostro es ancho, las orejas son pequeñas, las patas traseras son largas. El pelo es largo, espeso y sedoso, en las orejas el pelo es diminuto aparentando desnudes. La coloración de la parte dorsal es café muy oscuro y el vientre blanco cremoso o gris claro. La nariz, la región mas cercana a la base de los bigotes, y el área orbital son de color negro. Las patas son blancas. Tienen particularmente largos los nasales y la región zigomática ancha (Werbitsky y Kilpatrick, 1987). Se distribuye en las regiones elevadas de la sierra Norte de Oaxaca y en la Sierra de Juárez. Localidad tipo, Cerro Pelón, 13 millas noreste de Llano de las Flores, Distrito de Ixtlán, Oaxaca, altura 2804.16 m (Goodwin, 1969). Es una especie de hábitos nocturnos. Se alimenta de semillas. Cuando se encuentra en peligro

escapa subiéndose a los árboles. Se ha colectado en bosque mesófilo de montaña, bosque de pino, bosque de pino-encino y bosque de pino. Se encuentra desde los 2400 hasta 3500msnm (Goodwin, 1969).

### **Áreas prioritarias para la conservación**

La conservación de especies y ecosistemas en la mayoría de los países del mundo se basa en gran medida en la selección y establecimiento de reservas como parque nacionales, reservas de la biosfera, santuarios y refugios de la vida silvestre (Ceballos y Oliva, 2006). Ante la escasez generalizada de recursos económicos y humanos en la última década han surgido propuestas diversas para definir las áreas prioritarias para la conservación, empleando métodos de complementariedad (heurísticos y de optimización) para maximizar el número de especies representadas en el menor número de áreas protegidas (Caldecott *et al.*, 1996; Pressey *et al.*, 1993; Rodríguez y Gastón, 2002). Estos métodos se basan en la idea de que se logra una mayor efectividad en el uso de los recursos limitados si se destina a las áreas con mayores concentraciones de especies en general, o de los grupos de especies más amenazados.

### **Áreas naturales protegidas**

Las áreas naturales protegidas (ANP) son un instrumento de gestión ambiental de carácter regulatorio que se utiliza para conservar y proteger la biodiversidad directamente en el territorio donde se desarrolla de manera natural y el cual no presenta afectaciones significativas por actividades humanas. Estas áreas pueden ser terrestres o acuáticas representativas de diferentes ecosistemas, regiones biogeográficas y ecosistemas frágiles. Las ANP's son reconocidas como un elemento central de cualquier estrategia nacional para conservar la biodiversidad biológica (CONANP, 2001).

Su creación obedece a la necesidad de asegurar el equilibrio y las continuidades de los procesos evolutivos y ecológicos, así como para la preservación y aprovechamiento sustentable de la biodiversidad, en particular

de especies en peligro de extinción, amenazadas, endémicas y sujetas a protección especial, o para proteger recursos naturales estratégicos de interés local, regional y nacional. En estos espacios naturales en los que se realiza investigación científica, etnomedicina, y ecoturismo convergen diferentes actores, programas sectoriales, presupuestos, además de un mosaico de formas de tenencia de la tierra (ejidos, comunidades, pequeña propiedad, títulos coloniales, propiedad federal y estatal) (CONANP, 2001).

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), órgano desconcentrado de la SEMARNAT, es la entidad responsable de atender 154 áreas naturales protegidas, que cubren más de 18.7 millones de ha, lo cual equivale a 9.5% del territorio nacional (SEMARNAT, 2005). La LEEGPA divide a las ANP's en 8 categorías, 6 de las cuales dependen de la federación para su gestión y administración y se dividen en: reserva de la biosfera (35), parque nacional (67), monumento natural (4), área de protección de recursos naturales (3), área de protección de flora y fauna (28) y santuario (17). Las formas más comunes de protección son las reservas de la biosfera y las áreas de protección de flora y fauna que ocupan más del 60% del territorio protegido. La superficie marina protegida es de 4 millones 259 mil ha (20%) mientras que la terrestre alcanza 14 millones 659 mil ha (7%). No obstante, México posee una porción pequeña de su territorio bajo protección (9.5%) sobretodo si lo comparamos con otros países que tienen menor riqueza biológica (Perú, 13.4%; Guatemala, 29.3%; Panamá, 32%, etc.) (CONANP, 2001).

Para Oaxaca están decretadas 9 ANP con finalidad de proteger la biodiversidad del estado. Sin embargo, el problema actual es que muchas de estas áreas no cumplen bien su función, lo cual puede deberse a diversas razones entre las que se encuentran la mala selección del área, territorio insuficiente, falta de planes de manejo, población humana inmersa en ellas, actividades clandestinas (caza, cultivos ilegales), etc. (CONANP, 2001) (Cuadro 1, Fig. 1).

Entre las problemáticas que suelen encontrarse debido a la forma en como se han instrumentado los decretos, donde se deja de lado la participación de los



dueños de las tierras en la tomas de decisiones, suelen manifestar su desacuerdo ante la posibilidad de que se decrete una ANP en su propiedad. También se encuentran grupos de interés económico e inversionistas privados promotores de proyectos de desarrollo urbano, unidades habitacionales, desarrollos turísticos, mineros, etc. que suelen ser apoyados por algunos representantes de los gobiernos federal, estatal, municipal y que también suelen manifestar su oposición al establecimiento de ANP, ya que consideran que estas áreas pueden limitar su modelo de desarrollo económico y productivo (CONANP, 2001).

### **Sistema Nacional de Áreas naturales Protegidas**

Con la publicación en el Diario Oficial de la Federación del Reglamento de la LGEEPA en materia de Áreas Naturales Protegidas del 30 de noviembre del 2000, se establecieron los criterios que deben considerarse para incorporar a un ANP en el Registro del SINAP, aquellas áreas que presenten especial relevancia en algunas de las siguientes características: riqueza de especies, presencia de endemismos, presencia de especies de distribución restringida, presencia de especies en riesgo, diferencia de especies con respecto a otras áreas protegidas previamente incorporadas al Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas, diversidad de ecosistemas presentes, presencia de ecosistemas relictuales, presencia de ecosistemas de distribución restringida, presencia de fenómenos naturales importantes o frágiles; Integridad funcional de los ecosistemas, importancia de los servicios ambientales generados y viabilidad social para su preservación (CONANP, 2003). El Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas, incluye para Oaxaca la Reserva de la Biosfera de Tehuacan-Cuicatlán y Parque Nacional Huatulco (Cuadro 2).

El SINAP, sin embargo, aún dista de ser balanceado y operativamente óptimo, por lo que requiere incorporar nuevas áreas protegidas (SEMARNAP-INECONABIO 1995), por ejemplo las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) (Arriaga *et al*, 2000; CONABIO, 2000). Teóricamente, un Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) sería un mecanismo ideal y eficaz para proteger la diversidad de México, pero este potencial es limitado, en principio, por razones

intrínsecas a la propia biodiversidad del territorio (SEMARNAP-INE-CONABIO 1995).

### **Regiones Terrestres Prioritarias**

El Programa Regiones Prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad se orienta a la detección de áreas, cuyas características físicas y bióticas favorezcan condiciones particularmente importantes desde el punto de vista de la biodiversidad (Arriaga, *et al*, 2000; CONABIO).

El proyecto de Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) forma parte del Programa Regiones Prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), que tiene como objetivo la detección de áreas en la parte continental del territorio nacional, cuyas características físicas y bióticas favorezcan condiciones particularmente importantes desde el punto de vista de la biodiversidad en diferentes ámbitos ecológicos destacando la riqueza ecosistémica y específica comparativamente mayor que en el resto del país, así como una integridad ecológica funcional significativa y con una oportunidad real de conservación (Arriaga, *et al*, 2000; CONABIO).

Para el estado de Oaxaca, se proponen 9 regiones prioritarias (Cuadro 3 y Figura 2). Como puede observarse, algunas de las regiones propuestas cubren las ANP's ya existentes como es el caso de la Reserva de la Biosfera Tehuacan-Cuicatlán que esta inmersa en la región denominada RTP 121 Valle de Tehuacan-Cuicatlán.

### **Áreas de conservación certificadas**

La certificación es una herramienta que ayuda a los propietarios al establecimiento, administración y manejo de sus áreas naturales protegidas privadas. Es un proceso unilateral por parte del proponente, la CONANP participa como fedatario de la voluntad de conservar sus predios y de las políticas, criterios y acciones que el promovente pretende realizar para lograr

sus fines. (CONANP, 2008). actualmente se cuenta con un total de 177 áreas certificadas en 15 estados del país que significan más de 207,887 hectáreas y en ellas participan, entre otros, 9 grupos étnicos que involucran a cerca de 70 000 personas (CONANP, 2008). Las áreas certificadas por la CONANP han tenido un importante avance en el estado de Oaxaca, en la protección de ecosistemas como los bosques mesófilos, selvas húmedas, selvas secas, manglares, bosques templados, y en ellos habita una rica biodiversidad (Fig. 3) (CONANP, 2008).

### **Sistema Estatal de Conservación de Áreas Naturales**

Por su parte, y en forma administrativa, el Gobierno del Estado de Oaxaca ha emitido decretos de carácter estatal para contribuir a la protección de áreas prioritarias. La superficie protegida abarca solo 4175 has, lo que representa tan solo el 3.5% del territorio estatal. Sin embargo, a través del Sistema Estatal de Conservación de Áreas Naturales (SECAN), se propone el establecimiento de 31 áreas más (Cuadro 4 y Figura 4). La iniciativa se basa en los estudios básicos realizados por una organización no gubernamental (SERBO A.C.) que han definido a estas áreas como prioritarias, debido a la gran importancia de las mismas, ya sea por su alta diversidad y su relativo buen estado de conservación de la cubierta vegetal. Esta propuesta y los estudios en que se basa, se sistematizan actualmente en un Plan Maestro del SECAN, el cual es de tipo descriptivo y normativo. Esta iniciativa de conservación comprende una superficie de 2'929,156 de hectáreas, equivalente a casi 31% de la superficie del Estado, lo que aunado a lo ya decretado tanto por la autoridad estatal como federal, da una superficie total de 3'259,494 hectáreas, que representa el 34% de la superficie total del Estado.

## JUSTIFICACIÓN

Oaxaca resalta por su innumerable riqueza animal, sin embargo también es uno de que presentan graves problemas para la conservación de la misma. Los principales factores que alteran la diversidad son los mismos que existen en gran parte del territorio mexicano, la modificación o destrucción de hábitats que afecta a todos los grupos de animales, pero tiene un efecto mayor sobre especies de tamaño pequeño y de distribución restringida como los roedores endémicos.

Por lo anterior se han desarrollado estrategias de conservación de las especies, sin embargo una misma estrategia de conservación no puede ser aplicada para los diferentes grupos de animales, por lo tanto existen propuestas generales que tratan de beneficiar a muchas especies. Dentro de este contexto existen herramientas útiles como el modelo del nicho ecológico proyectado como la distribución potencial de las especies, la cual es muy útil para establecer estrategias de conservación (Martínez-Meyer, 2006)

Este trabajo se realiza con la finalidad de analizar la distribución potencial de los roedores endémicos de Oaxaca, en los sistemas de protección de la biodiversidad en el estado de Oaxaca, para plantear en caso de ser necesario, un área en la cual se distribuya potencial y real la mayoría de los roedores endémicos, dando elementos técnicos para la protección de dicha área.

## OBJETIVOS

### ***Objetivo general***

Realizar la modelación de la distribución geográfica potencial de los roedores endémicos de Oaxaca, determinando su representatividad en los sitios destinados a la protección de la biodiversidad

### ***Objetivos específicos***

- Modelar el nicho ecológico con las condiciones climáticas actuales para *Habromys ixtlani*, *H. chianteco*, *H. lepturus*, *Peromyscus melanocarpus*, *P. melanurus*, *Microtus oaxacensis*, *M. umbrosus*, *Rheomys mexicanus*, *Megadonthomys cryophilus*.
- Determinar en que proporción esta incluida la distribución potencial de los roedores endémicos de Oaxaca dentro de los sitios destinados a la protección de la biodiversidad; Áreas Naturales Protegidas, Regiones Terrestres Prioritarias, Áreas de Conservación Certificada y Sistema Estatal de Conservación de Áreas Naturales.
- Determinar un área donde exista la mayor representatividad de las especies estudiadas, con el fin de proponer la protección y manejo de dicha área.

## METODOS

### ***Datos de localidades de las especies.***

Se realizó una base de datos de localidades de presencia para *Habromys ixtlani*, *H. chianteco*, *H. lepturus*, *Peromyscus melanocarpus*, *P. melanurus*, *Microtus oaxacensis*, *M. umbrosus*, *Rheomys mexicanus*, *Megadonthomys cryophilus* a partir de registros recopilados de colecciones científicas y referencias bibliográficas. Los registros sin coordenadas geográficas fueron referenciados utilizando cartas topográficas de INEGI (1:250,000). La base de datos fue depurada eliminando registros repetidos y cuando la información contenida era incompleta o presentaba alguna deficiencias. Posteriormente esta base se proyectó al estado de Oaxaca mediante el programa Arcview 3.2 (Cuadro 5).

### ***Modelado del nicho ecológico***

Se realizó el modelado de la distribución geográfica potencial de los roedores endémicos de Oaxaca con base en su nicho ecológico, utilizando capas climáticas actuales a 1 Km. de resolución. (Cuadro 6) (Hijmans et al., 2005).

Los modelos se generaron utilizando el algoritmo genético *GARP* (*Genetic Algorithm for Rule-set Prediction*) (Stockwell y Noble, 1992; Stockwell, 1999 y Stockwell y Peters, 1999). Este algoritmo es un método robusto para el modelado del nicho ecológico, particularmente cuando los registros de la presencia de la especie son fragmentarios (Navarro et al., 2003). Utiliza mapas digitales de diferentes variables ambientales (temperatura, precipitación, topografía, etc.), y un conjunto de datos de localidades de presencia de la especie (registros individuales) para producir una serie de reglas que definen las condiciones ecológicas donde se distribuye la especie. Posteriormente, busca sitios con estas condiciones en un escenario geográfico produciendo así un mapa de presencia/ausencia potencial de la especie a través de todo el paisaje (Stockwell y Noble 1992; Stockwell y Peters 1999).

El proceso de construcción del modelo de nicho ecológico con *GARP* comienza con un re-muestreo de los puntos de colecta y puntos tomados del resto del mapa para generar un total de 2500 puntos divididos equitativamente en puntos de presencia y de pseudo-ausencia. La mitad de este conjunto de datos se utiliza para generar el modelo de nicho ecológico (datos de entrenamiento) y la otra para probarlo (datos de verificación) (Fielding y Bell, 1997). Usando los datos de entrenamiento se genera una regla de predicción y se evalúa estadísticamente con los datos de verificación; si el modelo es satisfactorio, la regla ambiental se retiene, si no, se desecha. El proceso se repite hasta generar una serie de reglas ambientales que predicen los datos de verificación con un máximo de significancia. Esta serie de reglas se va alterando de manera 'genética' (mediante mutaciones y translocaciones de los elementos de las reglas) para encontrar mejores soluciones; si las modificaciones mejoran el modelo, entonces este nuevo juego de reglas se retiene. Este proceso se repite hasta que los modelos no mejoran más allá de un valor crítico (convergencia), o hasta que se cumplen cierto número de iteraciones.

Para la bases de datos de *Peromyscus melanocarpus* se sobrepuso en una rejilla, seleccionándose un registro por casilla para evitar la aglomeración de registros y reducir el sesgo en los modelos de nicho (Hidalgo-Mihart, 2004) en algunas zonas, y con éstos se generó el modelo de nicho ecológico con *GARP* proyectándose a escenarios climáticos actuales. Todos los mapas estuvieron en formato *raster* con una resolución de 1 km x 1 km (Hijmans et al., 2005).

Para realizar los modelos de nicho ecológico en el experimento se tomó el 70 % de los registros como datos de entrenamiento (construcción del modelo) y el 30 % restante fueron datos de verificación de los modelos; dado que existe una variabilidad entre los modelos generados por *GARP*, se evaluaron 100 modelos con 0.01 de límite de convergencia a 1000 iteraciones máximo para delimitarlos; seleccionando 20 modelos con un umbral de 5% de error de omisión y de éstos se escogió el 50% más cercanos a la mediana del área de distribución predicha, para obtener finalmente los 10 mejores modelos que predigan la distribución geográfica potencial de la especie (Anderson et al., 2003).

Los 10 modelos se combinaron en *Arcview 3.2* creando mapas de consenso (es decir, el valor de píxel representa el número de modelos que predicen la presencia de la especie en ese píxel) de la distribución geográfica del nicho ecológico de la especie para las condiciones actuales.

### ***Validación estadística del modelo***

La evaluación de la calidad del modelo del nicho de las especies analizadas se realizó aplicando la prueba estadística de Ji \_ cuadrada (distribución de probabilidad continua con un parámetro  $k$  que representa los grados de libertad de la variable aleatoria) utilizando las localidades obtenidas como puntos de validación y sobreponiéndolos en el mapa, para comprobar si estos puntos estaban dentro de las regiones de presencia predicha más que los esperados al azar, dada la proporción de píxeles predichos como presencia por el modelo. Esta prueba provee una medida extrínseca de la significancia del modelo (Anderson, 2003).

Para llevar a cabo este proceso se generó una combinación de datos donde a partir de los diez mejores modelos para cada especie, se le sobrepusieron las localidades de colecta que estaban presentes en cada modelo, y lo que no lo estaban, con lo anterior se pudo obtener el porcentaje de omisión para cada modelo. Después se determinó el área de cada modelo y el área total de los modelos. Posteriormente se determinó el área de cada modelo y el área total de los diez modelos. Para poder determinar el exponente 1 ( $S_i$ ) = (número de puntos que están presentes en cada modelo+número de puntos que no están presentes en cada modelo) x (área de cada modelo/área total). Para determinar el exponente 2 ( $N_o$ ) = (número de puntos que están presentes en cada modelo+número de puntos que no están presentes en cada modelo-exponente 1). Para determinar la ji. Cuadrada= (((número de puntos que están presentes en cada modelo-número de puntos que no están presentes en cada modelo) <sup>2</sup>/ exponente 1i) + (((número de puntos que no están presentes en cada modelo-exponente 2) <sup>2</sup> /exponente 2) (Cuadro 7, 8).



## **Determinación de área de mayor representatividad**

Para determinar el área de mayor representatividad de los roedores endémicos, se realizó una sobre posición de la distribución potencial de los roedores endémicos, en el estado de Oaxaca, con lo que se determinó la sobreposición de píxeles de presencia, para cada una de las especies. Una vez ubicada el área propuesta en los municipios de Ixtlán y San Pedro Yaneri se realizó la caracterización del área determinando la vegetación que caracteriza a la zona a través del mapa del Inventario Nacional Forestal 2000, posteriormente se identificaron los poblados que existen en el área y la cantidad de habitantes de cada uno de ellos con la mapa de poblados 2000, así como la amplitud de alturas en la zona.

## RESULTADOS

### Validación estadística del modelo

Se realizó la validación estadística para las especies estudiadas por lo que la prueba de ji-cuadrado indicó que el modelo es significativamente predictivo:

*Habromys ixtlani*: ( $\chi^2=5.767$ ,  $P=0.0163$ ), *H. chinanteco*: ( $\chi^2=6.683$ ,  $P=0.0097$ ), *H. lepturus*: ( $\chi^2=3.139$ ,  $P=0.0764$ ), *Peromyscus melanocarpus*: ( $\chi^2=16.195$ ,  $P=5.7133E-05$ ), *P. melanurus* ( $\chi^2=13.093$ ,  $P=0.0003$ ), *Microtus Oaxacencis*: ( $\chi^2=7.765$ ,  $P=0.0053$ ), *M. umbrosus*: ( $\chi^2=0.2594$ ,  $P=0.0003$ ), *Rheomys mexicanus*: ( $\chi^2=11.862$ ,  $P=0.0006$ ), *Megadonthomys cryophilus*: ( $\chi^2=0.2594$ ,  $P=0.6105$ ).

### Modelo del nicho ecológico

***Habromys ixtlani***: En la distribución histórica reportada (Goodwin, 1969), se le conoce para la localidad tipo en el distrito de Ixtlán y otra área cercana, en bosque mesófilo de montaña y otros bosques húmedos de encino y pino, con un sotobosque denso con helechos (Robertson 1975), en cambio el modelo generado de distribución potencial incluye distritos como Cuicatlán y Mixe, en bosque mesófilo de montaña, bosque de pino, bosque de encino, bosque de pino-encino, agricultura de temporal (Fig. 5). En cuanto a las Áreas Naturales Protegidas, el 100% de la distribución potencial se encuentra fuera de los polígonos, con respecto a las Regiones Terrestres Prioritarias, el 100% se encuentra dentro de la RTP número 130; Sierras del Norte de Oaxaca-Mixe. Para las Áreas de Conservación Certificada, el 10% se encuentra dentro de la ACC de San Juan Teponaxtla. Con respecto a el Sistema Estatal de Conservación de Áreas Naturales, el 90% se encuentra dentro de las áreas 19, 1, 10, 9, 8, 11 (Fig. 5).

***Habromys chinanteco***: En Goodwin, 1969, se le conoce de las laderas de la vertiente del Golfo de México, en Cerro Pelón, Sierra Juárez, distrito de Ixtlán, de un bosque de pino-encino con orquídeas, helechos y bromelias, con el sotobosque denso y con mucha humedad todo el año (Rickard, 1977), en

cambio el modelo generado de distribución potencial, incluye distritos como Villa alta, Mixe, Cuicatlán y Teotitlán, en bosque de pino-encino, bosque mesófilo de montaña, agricultura de temporal, bosque de encino, bosque de pino, selva alta y mediana perennifolia, pastizal inducido (Fig. 6). Con respecto a las Áreas Naturales Protegidas, el 100% se encuentra fuera de los polígonos, para las Regiones Terrestres Prioritarias, se observa que el 80% se encuentra dentro de la RTP numero 130; Sierras del Norte de Oaxaca-Mixe, en las Áreas de Conservación Certificada, el 3% se encuentra dentro de la ACC de San Juan Teponaxtla. Con respecto al Sistema Estatal de Conservación de Áreas Naturales, se observa que el 90% se encuentra dentro de las áreas 19,1, 10, 9, 8, 11,7, 12 (Fig. 6).

***Habromys lepturus*:** Para esta especie se reporta que se distribuye exclusivamente en las partes más altas de la Sierra de Zempoaltepetl (Goodwin, 1969, Musser, 1969), en los bosques húmedos de encino, pino y helechos (bosque mesófilo) en donde los árboles están cubiertos de bromelias, musgos, líquenes y otras, en cambio el modelo de distribución potencial incluye distritos como Villa alta, Mixe, Yautepec, Juchitán, Cuicatlán y Teotitlán, en bosque mesófilo de montaña, agricultura de temporal, bosque de pino, bosque de encino, bosque de pino-encino, pastizal cultivado, selva baja caducifolia y subcaducifolia, selva alta y mediana perennifolia y subperennifolia, pradera de alta montaña (Fig. 7). Para las Áreas Naturales Protegidas, el 17.5% queda dentro de la Reserva de la Biosfera de Tehuacan-Cuicatlán, en las Regiones Terrestres Prioritarias, el 76.6% se encuentra dentro de las RTP numero 130, Sierras del Norte de Oaxaca-Mixe; y numero 132, Selva Zoque-La Sepultura. Con respecto a las Áreas de Conservación Certificada, el 10% se encuentra en las ACC de San Juan Teponaxtla, La Tierra del Faisán, San Antonio de Barrio, San Pedro Tlatepuesco, Santo Domingo Cacalotepec, Cerro de Las Flores, Cerro de Las Flores (Chayotepec), para el Sistema Estatal de Conservación de Áreas Naturales (Fig. 30), el 70% se encuentra dentro de las áreas 19, 1, 10, 9, 8, 11, 7, 12, 14, 2 (Fig. 7).

***Peromyscus melanocarpus***: En la distribución histórica reportada (Goodwin, 1969), donde esta restringida a los bosques de montaña en el centro-norte de Oaxaca, su distribución es discontinua y abarca dos segmentos, uno en el cerro Zempoaltepetl, distrito Mixe y otro en la ladera norte de la Sierra Juárez, distrito de Ixtlán (Rickart y Robertson, 1985), en el bosque húmedo de montaña, también esta en el bosque de neblina (Rickard y Robertson, 1985), en cambio el modelo generado de distribución potencial incluye distritos como Villa alta, Mixe, Yautepec, Juchitán, Choapam Cuicatlán y Teotitlán, en bosque mesófilo de montaña, agricultura de temporal, bosque de encino, bosque de pino, bosque de pino-encino, selva alta y mediana subperennifolia, pradera de alta montaña, bosque de oyamel, pastizal inducido (Fig. 8). Con respecto a las Áreas Naturales Protegidas, el 17.5% queda dentro de la Reserva de la Biosfera de Tehuacan-Cuicatlán, en las Regiones Terrestres Prioritarias, el 76.6% se encuentra dentro de las RTP numero 130, Sierras del Norte de Oaxaca-Mixe; y numero 132, Selva Zoque-La Sepultura, para las Áreas de Conservación Certificada, se observa que el 12% se encuentra dentro de las ACC de San Juan Teponaxtla, La Tierra del Faisán, San Antonio de Barrio, San Pedro Tlatepuesco, Santo Domingo Cacalotepec, con respecto a el Sistema Estatal de Conservación de Áreas Naturales, el 70% se encuentra dentro de las áreas 19, 1, 10, 9, 8, 11, 7, 12, 14, 2 (Fig. 8).

***Peromyscus melanus***: Se le conoce en las laderas de la Sierra Madre de Sur orientadas hacia el pacífico en el distrito de Pocuela (Musser y Carleton, 1993), el tipo de vegetación en el que se la ha encontrado es el de pino-encino en las partes más altas de su distribución, y el bosque tropical subcaducifolio a menores altitudes (Baker y womochel, 1996) donde esta restringida a los bosques de montaña en el centro-norte de Oaxaca, en cambio el modelo incluye distritos como Miahuatlán, Juquila, Sola de vega, Zimatlán, Nochixtlán, Zaachila, Tlaxiaco, Putla y Juxtlahuaca, en bosque mesófilo de montaña, bosque de pino, bosque de encino, bosque de pino-encino, selva alta y mediana subpennifolia, selva mediana caducifolia y subcaducifolia, selva baja caducifolia y subcaducifolia, sabana, bosque de táscate, agricultura de riego, asentamiento humano (Fig. 9). Con respecto a las Áreas Naturales Protegidas,

el 100% se encuentra fuera de los polígonos, en las Regiones Terrestres Prioritarias, el 62% se encuentra dentro de las RTP numero 129, Sierra Sur y Costa de Oaxaca; 128, Bajo Río Verde-Chacahua; 127, El Tlacuache; del Norte de Oaxaca-Mixe; y numero 132, Selva Zoque-La Sepultura; 126, sierras Triqui-Mixteca, para las Áreas de Conservación Certificada, el 4% se encuentra dentro de las ACC de Cafetal Soconusco, La Reforma, Las Flores, San Vicente, Concepción Vista Hermosa, Cafetal el Jordan, Juquilita, Sacramento, El trapiche, San Antonio, Corozal, rosalito I, La Pasionaria, Tierra Colorada, Piedra blanca, La libertad, Los Lirios, Juan diego II, La Soledad, Cerro Azul, San Ignacio, Fraccionamiento Santa Fe, Sistema Comunal de Áreas protegidas. En el Sistema estatal de Conservación de Áreas Naturales, el 40% se encuentra dentro de las áreas 3, 26, 15, 14, 28, 27, 23, 20, 29, 22 (Fig. 9).

***Microtus oaxacensis***: En la distribución histórica reportada (Goodwin, 1969), donde se distribuye, en los alrededores de Vista hermosa, en la Sierra Juárez, distrito de Ixtlán (Goodwin, 1966; Jones y Genoways, 1967), en el bosque mesófilo de montaña, de 1500 a 2500 msnm (Getz, 1985; Goodwin, 1966; Jones y Genoways, 1967), en cambio el modelo generado de la distribución potencial incluye distritos como Villa alta, Mixe, Cuicatlán y Teotitlán, en Bosque mesófilo de montaña, bosque de pino, bosque de encino, bosque de pino-encino, selva alta y mediana perennifolia, pradera de alta montaña, asentamiento humano (Fig. 10). Para las Áreas Naturales Protegidas, se observa que el 100% se encuentra fuera de los polígonos, con respecto a las Regiones Terrestres Prioritarias, se observa que el 90% se encuentra dentro de la RTP número 130, Sierras del Norte de Oaxaca-Mixe, para las Áreas de Conservación Certificada, el 15% se encuentra dentro de las ACC de San Juan Teponaxtla, La Tierra del Faisán, San Antonio de Barrio, San Pedro Tlatepuesco, con respecto al Sistema estatal de Conservación de Áreas Naturales, se observa que el 90% se encuentra dentro de las áreas 19,1, 10, 9, 8, 11,7, 12 (Fig. 10).

***Microtus umbrosus***: Se reporta que su distribución esta restringida en la pendiente del cerro Zempoaltepetl, cerca de Totontepec, distrito Mixe

(Goldman, 1951; Goodwin, 1969), es una de las especies del genero *Microtus* con la distribución más sureña (Hoffman y Koepl, 1985; Johnson y Johnson, 1982), habita en lugares húmedos en los bosques de encino (*Quercus*) con claros de pastizal (Goldman, 1951; Goodwin, 1969). Se le encuentra entre los 1700 y 2400msnm, en cambio el modelo incluye distritos como Choapam, Villa alta, Ixtlán, Tuxtepec, Cuicatlán y Teotitlán, en bosque mesófilo de montaña, bosque de pino, bosque de encino, bosque de pino encino, selva alta y mediana perennifolia, pradera alta de montaña, pastizal cultivado, agricultura de temporal.(Fig. 11). En las Áreas Naturales Protegidas en el estado de Oaxaca, el 100% se encuentra fuera de los polígonos, con respecto a las Regiones Terrestres Prioritarias, el 96% se encuentra dentro de la RTP número 130, Sierras del Norte de Oaxaca-Mixe, para las Áreas de Conservación Certificada, el 10% se encuentra dentro de las ACC de La Tierra del Faisán, San Antonio de Barrio, San Pedro Tlapepuesco, en el Sistema Estatal de Conservación de Áreas Naturales, se observa que el 88% se encuentra dentro de las áreas 19, 1, 10, 9, 11, 18, 13. (Fig. 11)

***Rheomys mexicanus***: En la distribución histórica (Goodwin, 1969), donde se reporta que la localidad tipo es San José Lachiguirí, distrito de Miahuatlán, además se reporta en Unión Hidalgo en el distrito de Juchitán, en el Río Chiapa, cuya vegetación cercana es de cactus. En otros casos (Lachiguirí), la vegetación es típica de bosque tropical caducifolio, en cambio el modelo generado de la distribución potencial incluye distritos como Tehuantepec, Yautepec, Mixe, Tlacolula, Ixtlán, Etlá, Cuicatlán y Teotitlán, en cuerpo de agua, popal-tular, selva baja perennifolia, pastizal cultivado, selva baja espinosa, agricultura, bosque de pino, bosque de encino, bosque de pino-encino, bosque mesófilo de montaña, asentamiento humano (Fig. 12). En las Áreas Naturales Protegidas el 5% queda dentro de la Reserva de la Biosfera de Tehuacan-Cuicatlán, en las Regiones Terrestres Prioritarias, se observa que el 65% se encuentra dentro de las RTP numero 132, Selva Zoque-La Sepultura; 130 Sierras del Norte de Oaxaca-Mixe; y 121 Valle de Tehuacan- Cuicatlán, para las Áreas de Conservación certificada, se observa que el 0.3% se encuentra dentro de las ACC de Cerro de las Flores, Cerro de las flores (Chayotepec), Santo Domingo Cacalotepec, San Juan Teponaxtla, en el

Sistema Estatal de Conservación de Áreas Naturales, se observa que el 65% se encuentra dentro de las áreas 2, 31, 14, 6, 19, 1, 10, 9, 8 (Fig. 12).

***Megadonthomys cryophilus***: En la distribución histórica reportada (Goodwin, 1969), donde se reporta que se distribuye en las regiones elevadas de la sierra Norte de Oaxaca y en la Sierra de Juárez esta restringida en la pendiente del cerro Zempoaltepetl, cerca de Totontepec, distrito Mixe (Goldman, 1951; Goodwin, 1969), Se ha colectado en bosque mesófilo de montaña, bosque de pino, bosque de pino-encino y bosque de pino. Se encuentra desde los 2400 hasta 3500msnm, en cambio el modelo generado de distribución potencial, incluye distritos como Mixe, Etlá, Cuicatlán y Teotitlán, en bosque mesófilo de montaña, bosque de pino, bosque de encino, bosque de pino-encino, selva baja caducifolia y subcaducifolia, agricultura (Fig. 13). En las Áreas Naturales Protegidas, el 40% queda dentro de la Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán, con respecto las Regiones Terrestres Prioritarias, el 100% se encuentra dentro de las RTP número, 130 Sierras del Norte de Oaxaca-Mixe; y 121 Valle de Tehuacán- Cuicatlán, en las Áreas de Conservación Certificada, el 100% se encuentra fuera de las ACC, con respecto al Sistema Estatal de Conservación de Áreas Naturales, se observa que el 95% se encuentra en las áreas 19, 9, 11, 7, 6 (Fig. 13).

## AREA PROPUESTA

Se obtuvo, una zona en la parte central de municipio de Ixtlán y el total de San Pedro Yaneri, donde coinciden la distribución de *Habromys ixtlani*, *H. chinanteco*, *H. lepturus*, *Peromyscus melanocarpus*, *Microtus Oaxacencis*, *M. umbrosus*, *Rheomys mexicanus*, *Megadonthomys cryophilus*, Cerca de Dicha zona existe una ACC, Santo Domingo Cacalotepec, en la cual solo coinciden *Peromyscus melanocarpus*, *Habromys lepturus*, y *Rheomys mexicanus* (Fig. 14, 15).

La vegetación es principalmente compuesta por: bosque mesófilo de montaña, bosque de coníferas-latifoliadas, selva perennifolia y subperennifolia, bosque

de latifoliadas, agricultura de temporal, pastizal inducido y bosque de coníferas. El amplitud de altura esta entre los 600 a 3100 msnm (Fig. 16).

En lo referente a los asentamientos humanos en esta zona se encuentran: La Luz, Ixtlán de Juárez, con 299 habitantes, San Miguel Tiltepec, con 251 habitantes, Santa Maria Josaa, con 132 habitantes, San Andrés Sinaxtla, con 499 habitantes, San Juan Yaguila, con 513 habitantes, Santiago Teotlaxco, con 454 habitantes, Santa Cruz Yagavila, con 521 habitantes, Santa Maria Zoogochi con 566 habitantes, San Pedro Yaneri, con 461 habitantes, San Juan Tepanzacoalco con 469 habitantes, Santo Domingo Cacalotepec, con 492 habitantes (Poblados, 2000).



## DISCUSIÓN

La modelación de la distribución de los roedores a través de algoritmos de inteligencia artificial es importante ya que genera información biogeográfica útil, mediante el uso de datos ambientales (Anderson *et al.*, 2002, Guisan *et al.*, 2002, Anderson *et al.*, 2003). Los modelos de distribución reflejan las condiciones ambientales similares a donde las especies fueron registradas.

Las pruebas de precisión que generan los algoritmos tienen algunas limitaciones ya que en ocasiones pueden no detectar falsos positivos (sobrepredicción) y falsos negativos (sobreajustado), (Anderson *et al.* 2003). Las causas de dichos errores de los algoritmos pueden deberse a limitaciones de las técnicas de modelaje de cada programa y factores ecológicos que impiden que se registren especies dentro de su nicho ecológico fundamental (Araujo y Pearson, 2005). El algoritmo más adecuado es aquel que tenga la menor cantidad de falsos negativos en sus predicciones (Anderson *et al.* 2003). Para la base de datos con que se trabajó, GARP cumplió con este requisito, por lo tanto los resultados son confiables y pueden ser útiles para su aplicación en esfuerzos de conservación. Adicionalmente, la información generada puede ser útil en muchos campos de estudio como biogeografía, variación geográfica, ecomorfología, biología de la conservación, etología, entre otras (Peterson *et al.* 1998).

Las pruebas desarrolladas para conocer la significancia estadística del modelo para las especies en estudio usando este método GARP mostraron una alta predictividad. Resultados de este tipo han sido obtenidos en trabajos realizados bajo este mismo enfoque de Modelado de nicho ecológico, numerosas pruebas formales han demostrado que el modelado con GARP es altamente predictivo (Feria y Peterson, 2002; Anderson *et al.*, 2003; Anderson y Martínez-Meyer, 2004; Raxworthy *et al.*, 2003).

El modelado con GARP no toma en cuenta las barreras fisiográficas que existen, y áreas donde históricamente no se ha registrado la especie pero son predichos por el modelo, esto se debe a que las condiciones ambientales, así

como su clima, elevación, topografía, vegetación son similares a su área de distribución. Otros factores que intervienen en la dinámica espacial de los roedores endémicos y no pueden ser adicionadas a este método son las interacciones entre las especies (inter/intra específicas), el cambio de uso de suelo, la urbanización, entre otras, influyendo en la reducción e interacción con su hábitat, sin embargo los modelos resultantes dan una representación cercana hacia áreas posibles de conservación y una perspectiva del cambio que pueden sufrir estas zonas (Peterson, 2003).

Existen grandes diferencias en cuanto a la concordancia de los roedores endémicos en cada uno de los sistemas de protección de la biodiversidad, en el caso de las RTP's, (82.9%) que fueron identificadas por diferentes especialistas con base en información biológica importante (Arriaga et al, 2000) y SECAN (77.5%) que también fue generado con base en estudios biológicos, en estos dos sistemas existe una concordancia buena en cuanto a el área de distribución potencial de las especies estudiadas, si embargo no dejan de ser propuestas, que es muy difícil que se puedan llevar a la practica. En lo que se refiere a las ANP's (8.9%) y ACC (7.1%) la concordancia con las distribuciones potenciales es muy poca, estos sistemas fueron establecidos bajo diferentes criterios de conservación, los cuales no necesariamente son biológicos, por lo tanto presentan diversas problemáticas como el tamaño muy pequeño de algunas ANP's y de casi todas las ACC, además que no tienen conectividad entre ellas. Es posible que lo mismo suceda para otros grupos taxonómicos, posiblemente la falta de criterios biológicos, o el uso de criterios poco fundamentados en el momento de identificar las zonas de protección de flora y fauna hayan generado estas limitaciones (Cantú *et al.* 2005),

El análisis que se realizó permitió identificar un área que incrementaría sustancialmente el nivel de protección a los roedores endémicos, en dicha área existe una representatividad muy alta 8 de 9 especies, donde garantiza las distribuciones reales y potenciales, además de la vegetación que existe en la zona es representativa a la mayoría de especies, también es importante llevar a cabo investigaciones adicionales de otras especies importantes. En esta área propuesta resulta relevante mejorar la utilización de los recursos forestales así

como los asentamientos humanos y las actividades agrícolas, por lo que los esfuerzos de conservación acompañados de la educación ambiental deben ser bien planeados, comenzando con un diagnóstico socio-ambiental.

Investigaciones como ésta, son primordiales en la planeación de la conservación y manejo de recursos naturales, ya que el análisis se realiza para un numero considerable de especies, puesto que actualmente las estrategias para fomentar la conservación se enfocan en una sola especie, que no necesariamente reflejan la importancia de un área, por lo que muchas veces se toman decisiones equivocadas, en este caso se analizan mas especies importantes.

## CONCLUSIONES

Con el presente trabajo se concluye que el nivel de representatividad en la ANP's, ACC en el estado de Oaxaca es insuficiente para proteger eficientemente a los roedores endémicos, mientras que donde existe buena representatividad tanto las RTP's y SECAN son propuestas que es difícil que se lleven a cabo. El área propuesta incrementaría de manera significativa la representatividad de las especies del estudio.

Es importante recalcar la efectividad de los modelos con pocas localidades de registro, lo que impera la importancia del modelado de las especies, con aplicaciones hacia la conservación, por lo tanto se requiere de mas estudios utilizando esta herramientas de modelado en el estado de Oaxaca, sin embargo debido a la complejidad ambiental es adecuado utilizar temáticas de resolución espacial mas finas, a un nivel mas regional.

Los modelos que se obtienen son escenarios estáticos y una simplificación de la realidad, quedando abierta la posibilidad de que la realidad no se apegue por completo al modelo, ya que la presencia de una especie depende de su historia y de los factores que afectan a sus poblaciones además del tiempo y las condiciones del entorno.

## BIBLIOGRAFIA

- Anderson, R.P., M. Laverde y Peterson, A.T. (2002). Niche-based models of species- potential macrodistributions suggest competition and competitive release in spiny pocket mice. *Oikos* 93, 3–16.
- Anderson, R. P., D. Lew y A. T. Peterson. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162: 211-232.
- Anderson, R.P y E. Martinez-Meyer. 2004. Modeling species' geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (*Heteromys*) of Ecuador. *Biological Conservation* 116: 167–179.
- Araújo, M. B., R. Pearson, W. Thuillers y M. Erhard. 2005. Validation of species-climate impact models under climate change. *Global Change Biology*. 11: 1504-1513.
- Áreas Naturales Protegidas de México con Decretos Estatales, Vol. 2.* SEMARNATINE-CONANP. México. versión on line: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/mayo/2006>.
- Áreas Naturales Protegidas de México con Decretos Federales.* INE-RDS PNUD. México. Versión on line: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/mayo/2006>.
- Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coordinadores). 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México.* Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.
- Baker, R.H. y M. K Peterson. 1965. Notes on a Climbing Rat, *Tylomys*, from Oaxaca, México. *Journal of Mammalogy* 46: 694-695
- Briones-Salas, M y V. Sánchez-Cordero. Mamíferos. En; A. J. García-Mendoza, M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds). *Biodiversidad de Oaxaca.* Instituto de Biología. UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund, México, pp. 423-447.
- Cantu, A.C., Wright, G., Scott, M.J. y Strand, E. 2005. Las áreas naturales y su protección en Tamaulipas. En: *Historia Natural de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México.* G. Sánchez-Ramos, P. Reyes-

- Castillo y R.Dirzo (eds.) 1th edición, Universidad Autónoma de Tamaulipas, pp. 116-127
- Cervantes, F.A., M. Martínez e Y. Hortelano. 1993. variación morfométrica intrapoblacional de *Peromyscus melanocarpus* (Rodentia: Muridae) de Oaxaca, México. Anales del instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología 64: 153-168.
- Chapman, A.D.,M.E.S. Muñoz y I.Koch. 2005. Environmental Information: Placing Biodiversity Phenomena in an Ecological and Environmental. *Biodiversity Informatics* 2:24-41.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales protegidas, 2008
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), 2003, <http://www.conanp.gob.mx>.
- CONANP. 2001. Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2001-2006.
- CONANP. 2008. Logros 2008
- CONABIO. 2000. Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México.
- Elton, C. 1927. Animal Ecology. Sidgwick & Jackson, London 63-68.
- Feria, T.P. y Peterson, A. T. 2002. Prediction of bird community composition based on point-occurrence data and inferential algorithms: a valuable tool in biodiversity assessments. *Diversity and Distributions* 8: 49-56.
- Fielding, A.H., y J.F.Bell. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* 24:38-49.
- Goodwin, G. G. 1964. A new species and a new subspecies of *Peromyscus* from Oaxaca, México. *Ibid.*,no. 2183, pp. 1-8.
- Goodwin, G. G.1969. Mammals from the state of Oaxaca México, in the American Museum of Natural History 141: 1:269.
- Graham, H.C., S. Ferrier, F. Huettman, C. Moritz y A. T. Peterson. 2004. New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology & Evolution* 19:497-503.
- Grand, J., Cummings, M.P., Rebelo, T.G., Ricketts, T.G., Maile, N.C. 2007. Biased data reduce efficiency and effectiveness of conservation reserve networks. *Ecol. Lett.* 10, 364-374

- Grinnell, J. 1917. The niche-relationships of the California Thrasher. *Auk* 34:427-433. Grinnell, J. 1924. Geography and evolution. *Ecology* 5:225-229.
- Guisan, A., Edwards, Jr.T.C., y Hastie, T. (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecol. Model.* 157, 89-100.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones y A. Jarvis, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Hidalgo-Mihart, M. G., L. Cantú-Salazar, A. González-Romero y C. A. López-González. 2004. Historical and present distribution of coyote (*Canis latrans*) in Mexico and Central America. *Journal of Biogeography* 31:2025-2038.
- Hutchinson, G.E. (1957). Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology* 22: 415–457.
- Iloldi Rangel, P.2005. Análisis de patrones de distribución geográfica de los mamíferos del estado de Oaxaca
- IPCC 2001. Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.A. Jonson (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Jones, P.G., S.E. Beebe y J. Tohme. 1997. The use geographical informatics systems in biodiversity exploration and conservation. *Biodiversity and Conservation* 6:947-958.
- Jones, J. K.J. y H.H. Genoways. 1967. Notes on the Oaxacan vole *Microtus oaxacensis* Goodwin 1966. *Jour. Mammal.* 48: 320-321.
- Lindenmayer, D.B., H. A. Nix, J.P. McMahon, M.F. Hutchinson y M.T. Tanton. 1991. The conservation of Leadbeater's possum, *Gymnobelideus leadbeateri* (McCoy): a case study of the use of bioclimatic modeling. *Journal of Biogeography* 18: 371-383.
- Magaña, V., C. Conde, O. Sánchez y C. Gay. 1997. Assessment of current and future regional climate scenarios for Mexico. *Climate Research* 9:107-114.

- Martínez-Meyer, E. 2005. Climate change and biodiversity: Some considerations in forecasting shifts in species' potential distributions. *Biodiversity Informatics* 2:42-55.
- Martínez-Meyer, E. et al. 2004. Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implications for Pleistocene extinctions and climate changes projections for biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*, (Global Ecol. Biogeogr.) 13:305-314.
- Navarro-Singuenza A., A. T. Peterson, Y. Nakazawa e I. Liebig. 2003. Colecciones biológicas, modelaje de nichos ecológicos y los estudios de la biodiversidad. En J.J. Morrone y J. Llorente (eds.). Una perspectiva Latinoamericana de la Biogeografía. Facultad de Ciencias, UNAM, México, 115-122
- Odum, P. E. 1972. *Ecología*. McGraw-Hill Interamericana. México, D. F.
- Osgood, W. H. 1909. Revision of the mice of the American genus *Peromyscus*. *North Amer. Fauna*, no. 28, pp. 1-285
- Parra-Olea, G., E. Martínez-Meyer y G. Pérez-Ponce de León. 2005. Forecasting Climate Change Effects on Salamander Distribution in the Highlands of Central Mexico. *Biotropica* 37: 202-208.
- Peterson, A.T., Navarro-Sigüenza, A.G. y Benítez-Díaz, H. 1998. The need for continued scientific collecting; a geographic analysis of Mexican bird specimens. *IBIS* 140, 288–294.
- Peterson, A. T., D. R. B. Stockwell y D. A. Kluza. 2002a. Distributional prediction based on ecological niche modeling of primary occurrence data. En: Scott, J. M., P. J. Heglund y M. L. Morrison (eds.). Predicting species occurrences: Issues of scale and accuracy. *Island Press. Washington, D. C.*, 617-623.
- Peterson, A. T., E. Martínez-Meyer, C. González-Salazar y P.W. Hall. 2004. Modeled climate change effects on distributions of Canadian butterfly species. *Canadian Journal of Zoology* 82: 851–858.
- Peterson, A.T. 2003. Projected climate change effects on Rocky Mountain and Great Plains birds: generalities of biodiversity consequences. *Global Change Biology* 9: 647-655.
- Peterson, A.T. y J. Shaw. 2003. *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in Southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic



- distributions, and climate change effects. *International Journal for Parasitology* 33: 919-931.
- Peterson, A.T., M.A. Ortega-Huerta, J. Bartley, V. Sánchez-Cordero, J. Soberón, R.H. Buddemeier y D.R.B. Stockwell. 2002. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature* 416:626-629.
- Peterson, A.T., V. Sánchez-Cordero, J. Soberón, J. Bartley, R. W. Buddemeier y A.G. Navarro-Sigüenza. 2001. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecological Modelling* 144: 21-30.
- Porter, W.P., S. Budaraju, W. E. Stewart y N. Ramankutty. 2000. Calculating climate effects on birds and mammals: impacts on biodiversity, conservation, population parameters, and global community structure. *American Zoology* 40:597-630.
- Raxworthy, C.J. *et al.* 2003. Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. *Nature* 426: 837-841.
- Sánchez, C., C.J. Álvarez y M.L Romero. 1996. Biological and Ecological Aspects of *Microtus* *oaxacensis* and *Microtus* *mexicanus*. *The Southwestern Naturalist* 41: 95-98.
- Sanchez-Cordero, V .1994. Biological Survey and Conservation in Mexico. Newsletter, Association of Systematic Collections 21(5).
- Sánchez-Cordero, V., A.T. Peterson y P. Escalante. 2001. El modelado de la distribución de especies y la conservación biológica. En: H.M. Hernández, A.N. García, F. Álvarez, y M. Ulloa (comp.). Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad. Instituto de Biología, UNAM, México 359-379.
- Sánchez-Cordero, V., A. T. Peterson, E. Martínez-Meyer y R. Flores. 2005. Distribución de roedores reservorios del virus causante del síndrome pulmonar por hantavirus y regiones de posible riesgo en México. *Acta Zoológica Mexicana* 21: 79-91.
- Semarnat, 2005. 5 Informe de Labores.
- Semarnat / Conabio 1995. Reservas de la Biosfera y Otras Áreas Naturales Protegidas de México, México.

- Schoener, T.W. 1989. 4 The Ecological Niche In J.M. Cherret, (ed.). *Ecological Concepts. Blackwell Science, Oxford, UK.*
- Segurado, P. y M.B. Araujo. 2004. An evaluation of methods for modelling species distributions. *Journal Biogeography* 31:1555–1568.
- Soberón, J. y A. T. Peterson. 2005. Interpretation of Models of Fundamental Ecological Niches and Species' Distributional Areas. *Biodiversity Informatics* 2:1-10.
- Soberón, J. y A. T. Peterson. 2004. Biodiversity informatics: managing and applying primary biodiversity data. *Philosophical Transactions of The Royal Society of London, Biological Sciences* 359:689-698.
- Soberón, J. y A.T. Peterson. 2005. Interpretation of models of fundamental niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2: 1-10.
- Guisan, A. & W. Thuiller. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8: 993-1009.
- Stein, B.R. y J. Wiecek. 2004. Mammals of the world: MaNIS as an example of data integration in a distributed network environment. *Biodiversity Informatics* 1:14-22.
- Stockwell, D. R. B. 1999. Genetic algorithms II. En: Fielding, A. H. (ed), *Machine learning methods for ecological applications. Kluwer Academic Publishers, Boston* 123-144.
- Stockwell, D. R. B. y D. Peters. 1999. The GARP modelling system: problems and solutions automated spatial prediction. *International Journal of Geographic Information Science* 13:143-158.
- Stockwell, D. R. B. y I.R. Noble. 1992. Induction of sets of rules from animal distribution data a robust and informative method of data analyst. *Mathematics and Computers Simulation* 33:385-390.
- Townsend-Peterson, A. 2004. Reconstructing the Pleistocene geography of the Aphelocoma jay (Corvidae) *Diversity and Distributions*, (Diversity Distrib.). 10, 237–246.
- Vázquez, E. 1988. Distribución altitudinal de pequeños mamíferos en la sierra Mixteca, Oaxaca, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. México, 73pp.
- Venables, W.N. y B.D. Ripley. 2002. *Modern applied statistics with S-PLUS.* Springer-Verlag, New York.

- Worboys, M.F. 1994. Reasoning about GIS using temporal and dynamic logics. Temporal Workshop (NCGIA).Oruno. Meine.
- Yuan, M.1994. Wildfire conceptual modeling for building GIS space-time models GISILIS 94. Phoenix, Arizona: 860-869.

# ANEXO 1

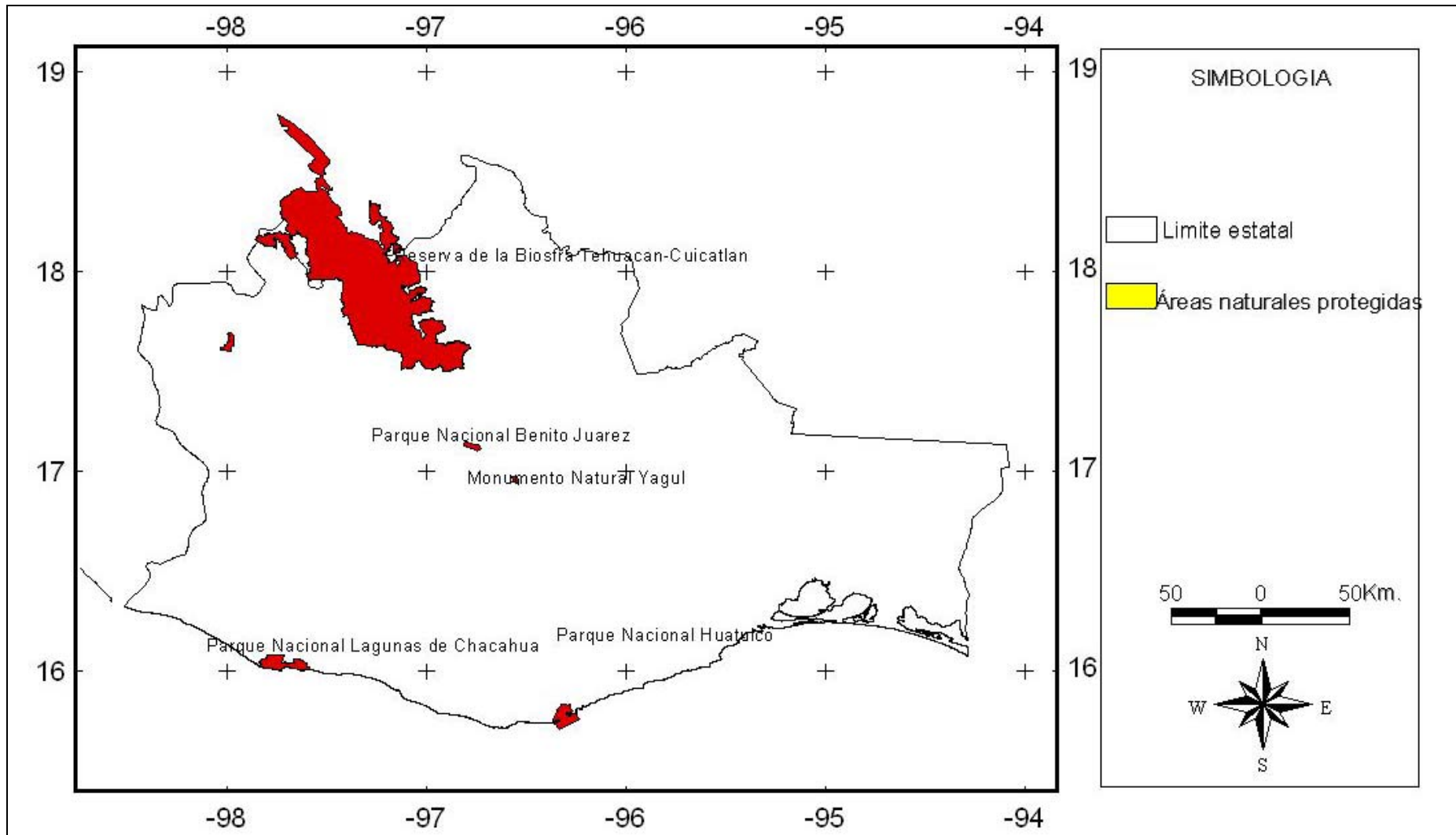


Fig. 1. Áreas Naturales protegidas de Oaxaca.

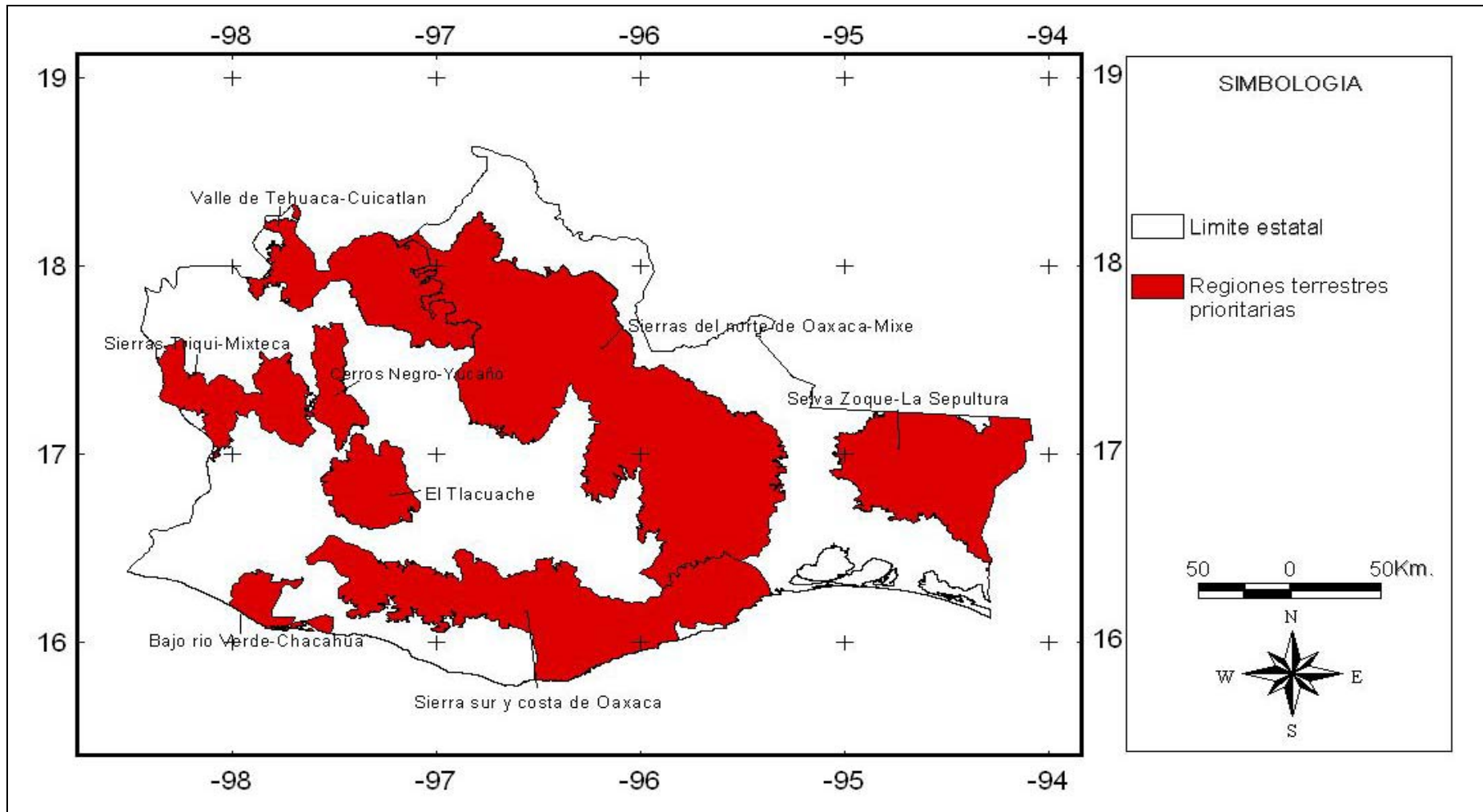


Fig. 2. Regiones terrestres prioritarias para el estado de Oaxaca.

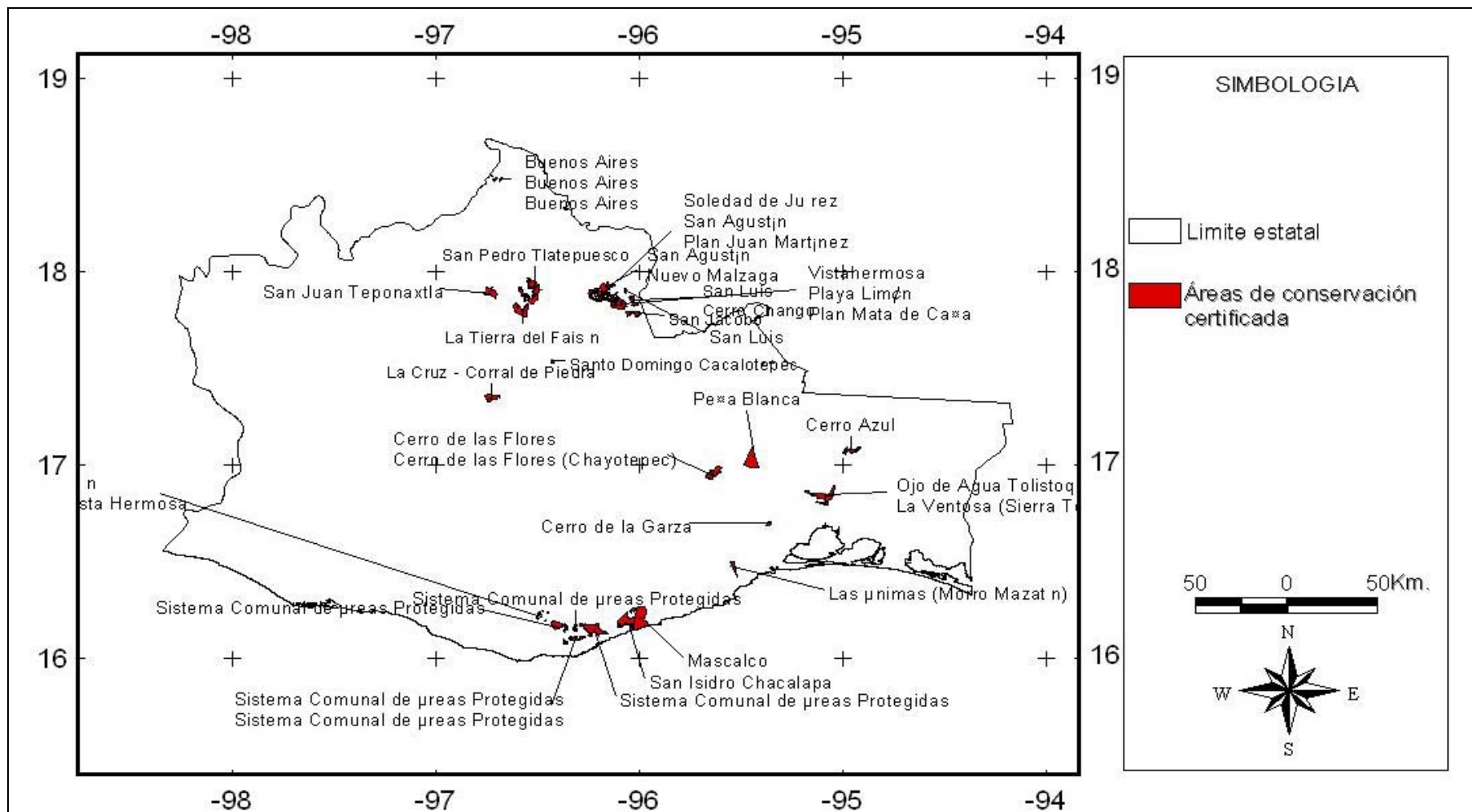


fig. 3. Áreas de conservación certificada en el estado de Oaxaca.

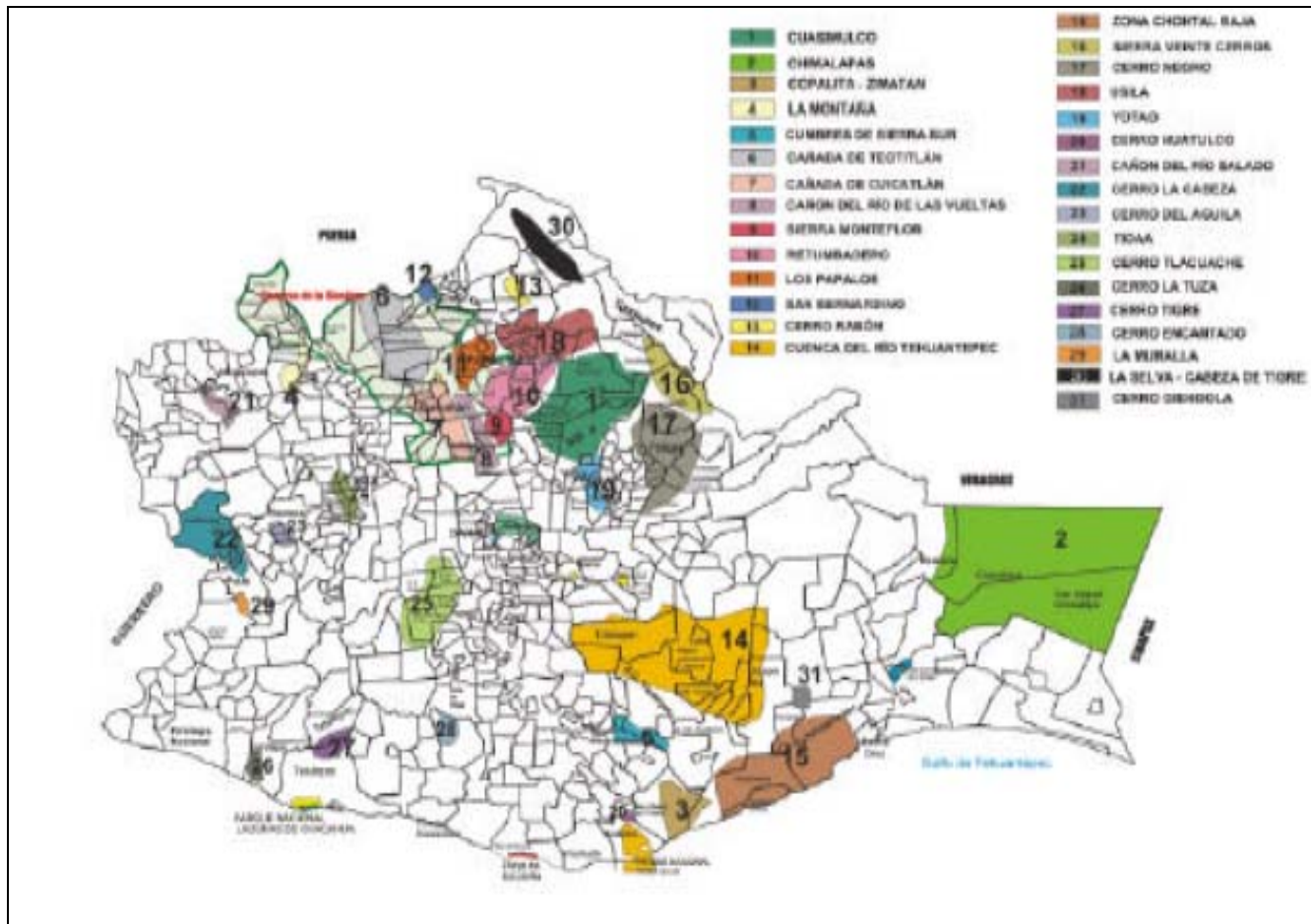


Fig. 4. Sistema Estatal de Conservación de Áreas naturales en el estado de Oaxaca propuestas por el IEEO.



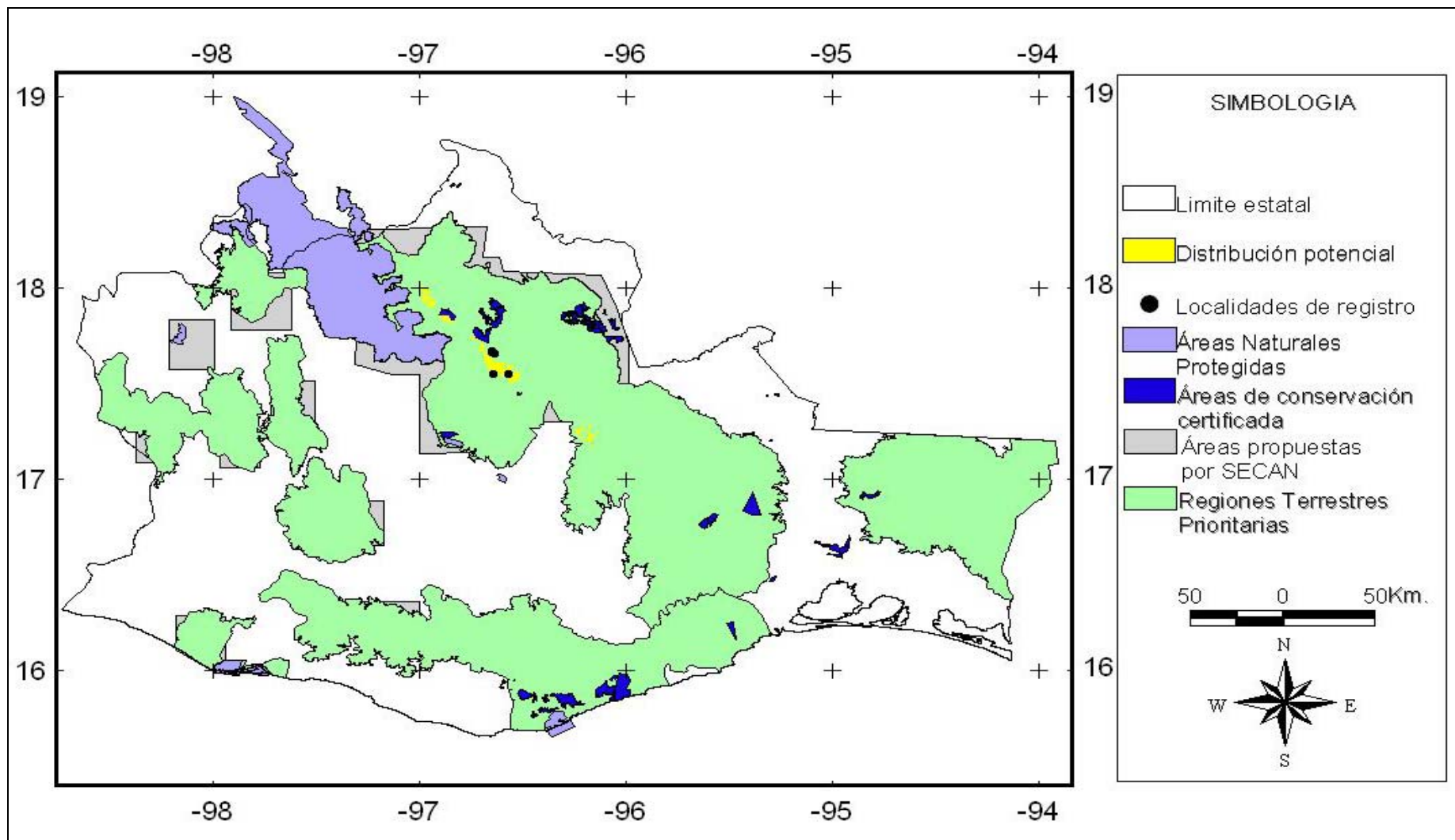


Fig. 5. Distribución potencial con base en el modelado de nicho de *Habromys ixtlani*, en las Áreas Naturales Protegidas, Áreas de Conservación Certificada, Áreas Propuestas por SECAN, Regiones Terrestres Prioritarias.

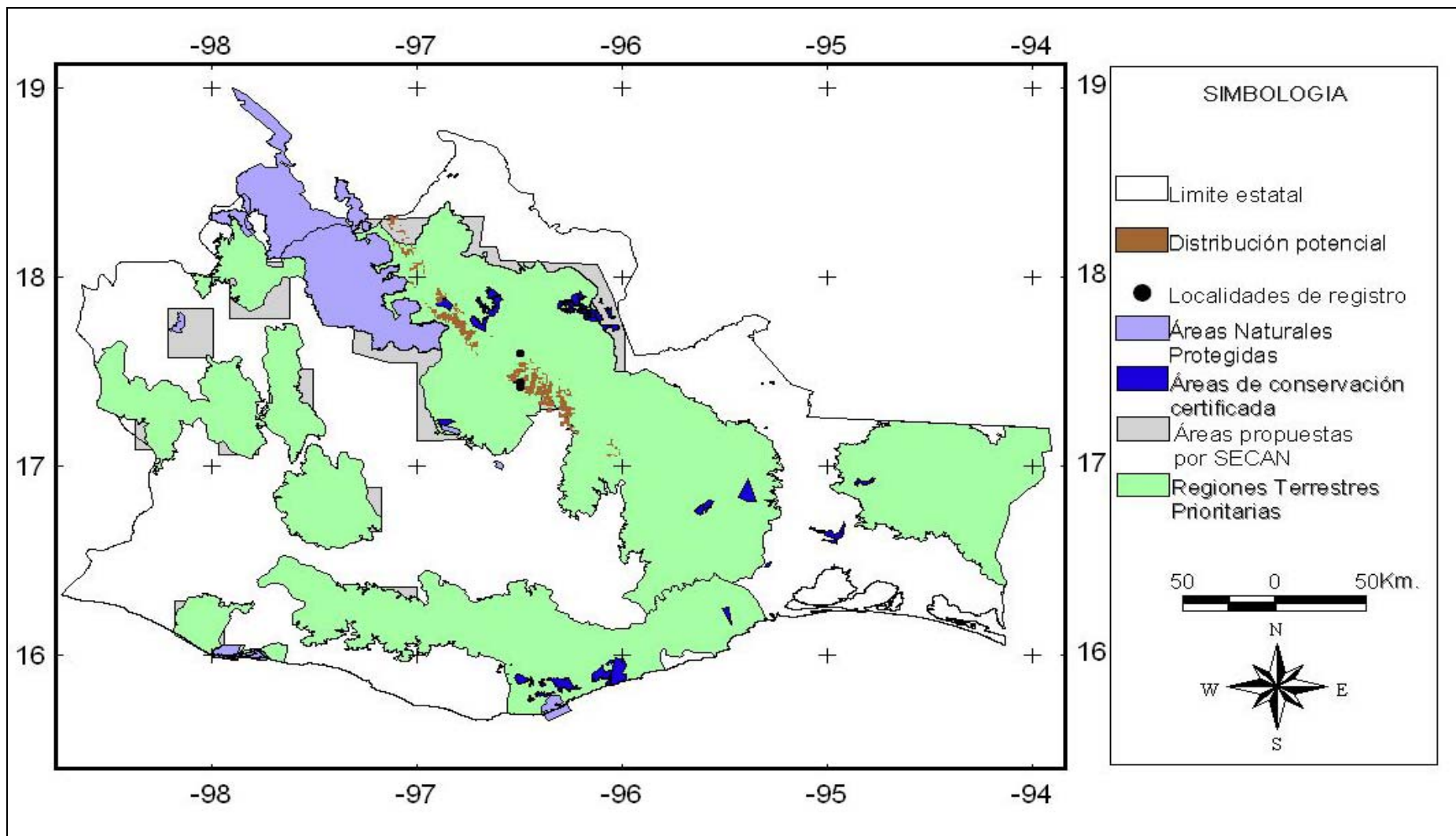


Fig. 6. Distribución potencial con base en el modelado de nicho de *Habromys chinanteco*, en las Áreas Naturales Protegidas, Áreas de Conservación Certificada, Áreas Propuestas por SECAN, Regiones Terrestres Prioritarias.

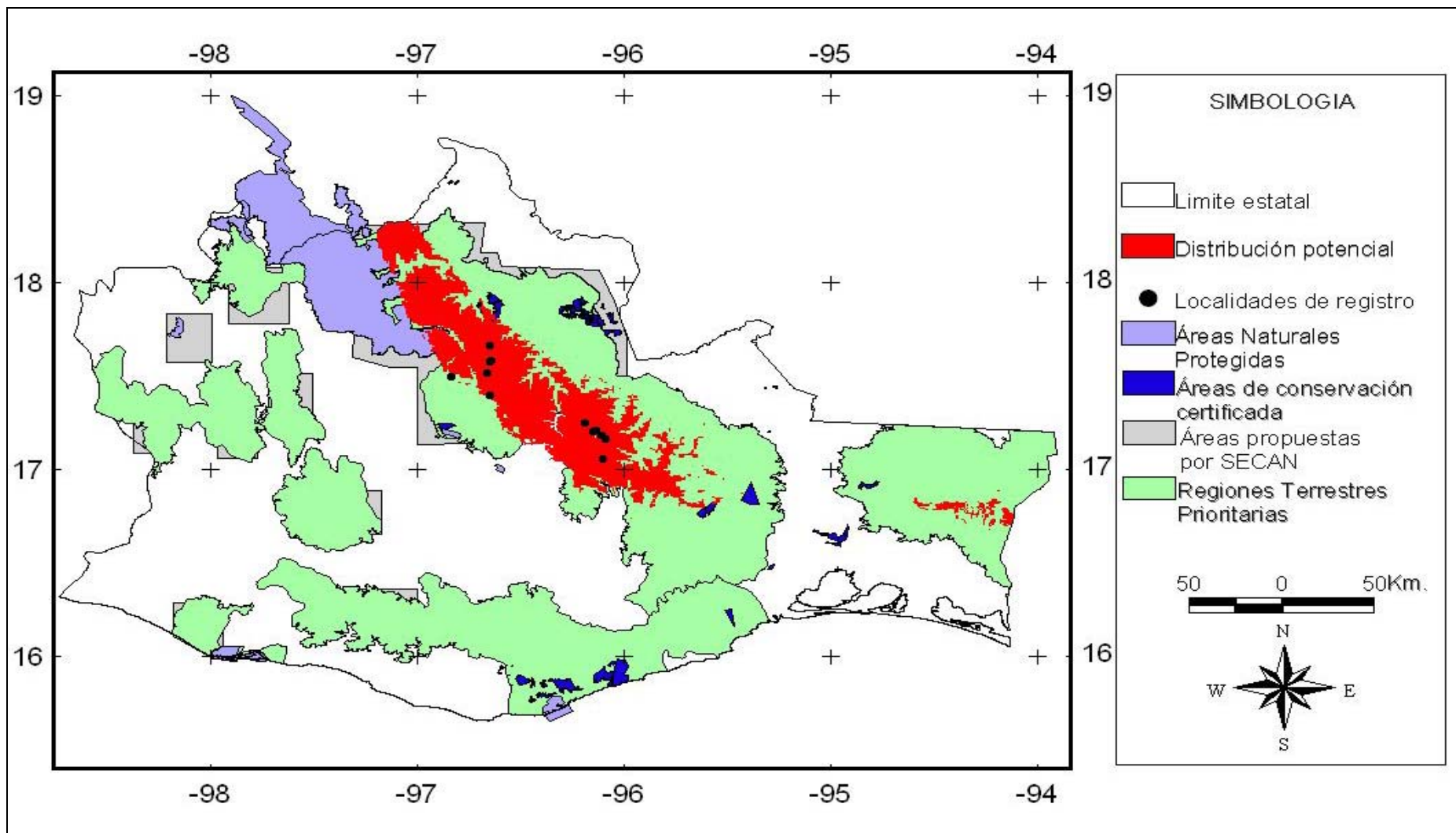


Fig. 7. Distribución potencial con base en el modelado de nicho de *Habromys lepturus*, en las Áreas Naturales Protegidas, Áreas de Conservación Certificada, Áreas Propuestas por SECAN, Regiones Terrestres Prioritarias.

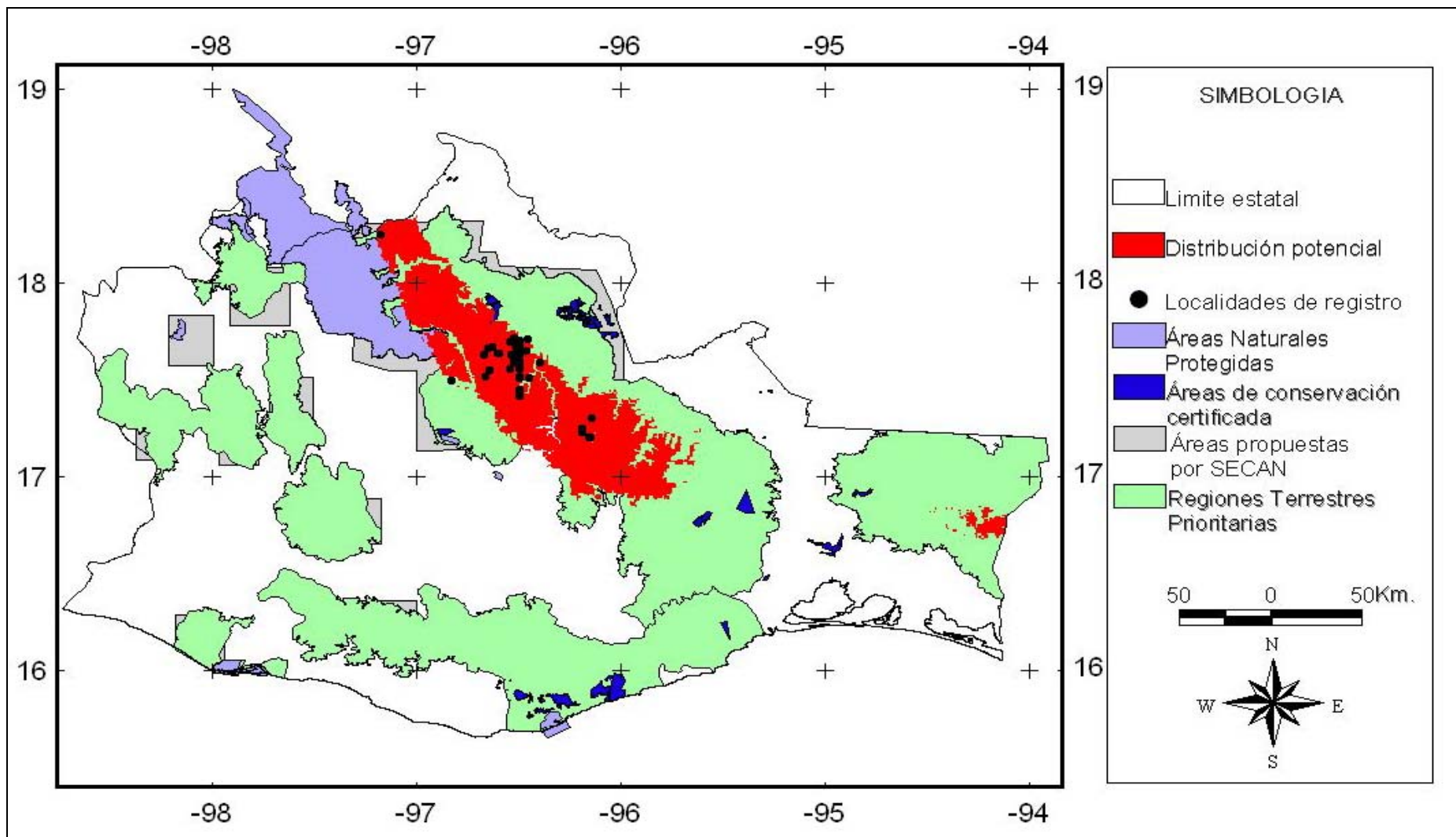


Fig. 8. Distribución potencial con base en el modelado de nicho de *Peromyscus melanocarpus*, en las Áreas Naturales Protegidas, Áreas de Conservación Certificada, Áreas Propuestas por SECAN, Regiones Terrestres Prioritarias.

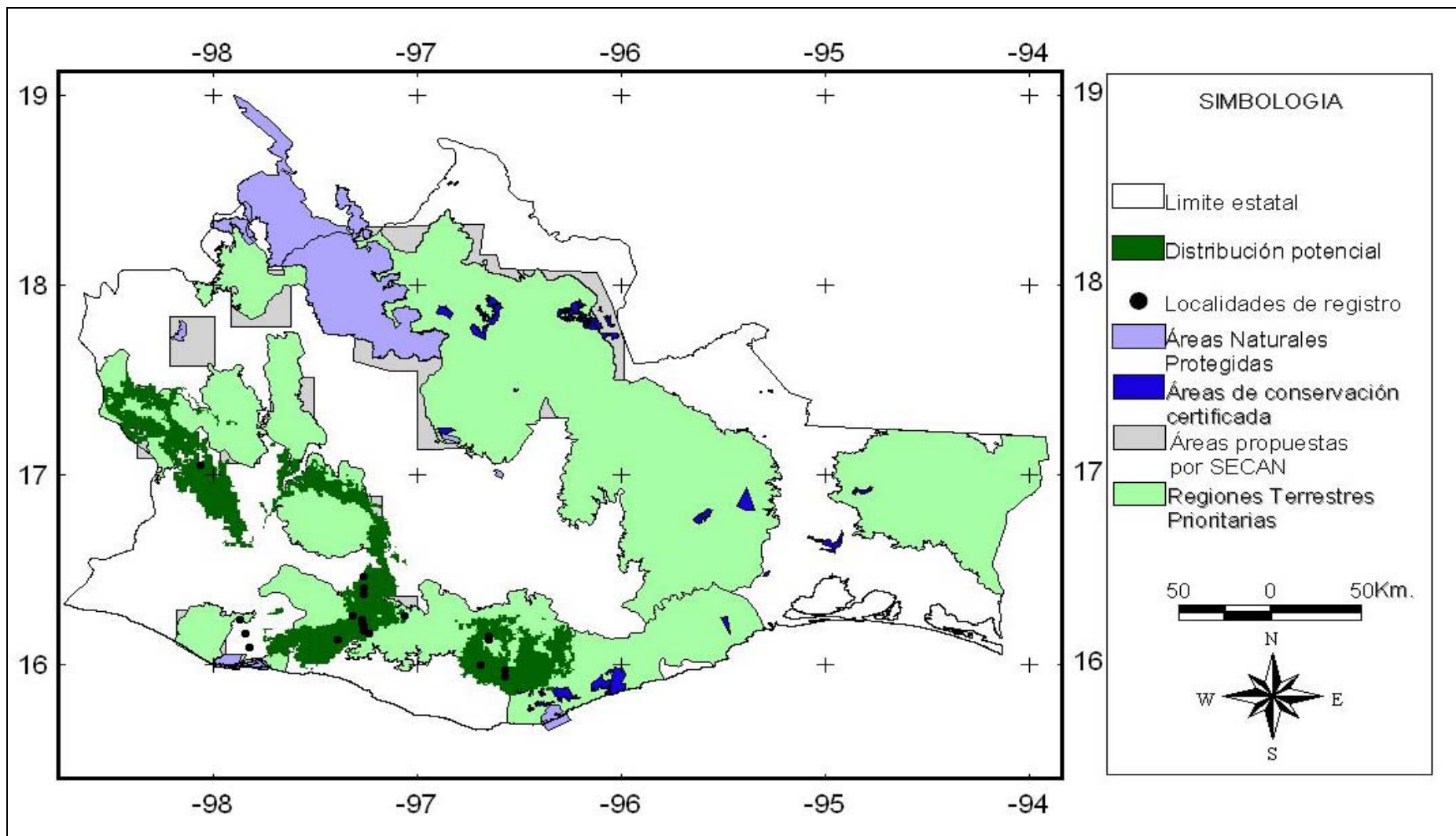


Fig. 9. Distribución potencial con base en el modelado de nicho de *Peromyscus melanurus*, en las Áreas Naturales Protegidas, Áreas de Conservación Certificada, Áreas Propuestas por SECAN, Regiones Terrestres Prioritarias.

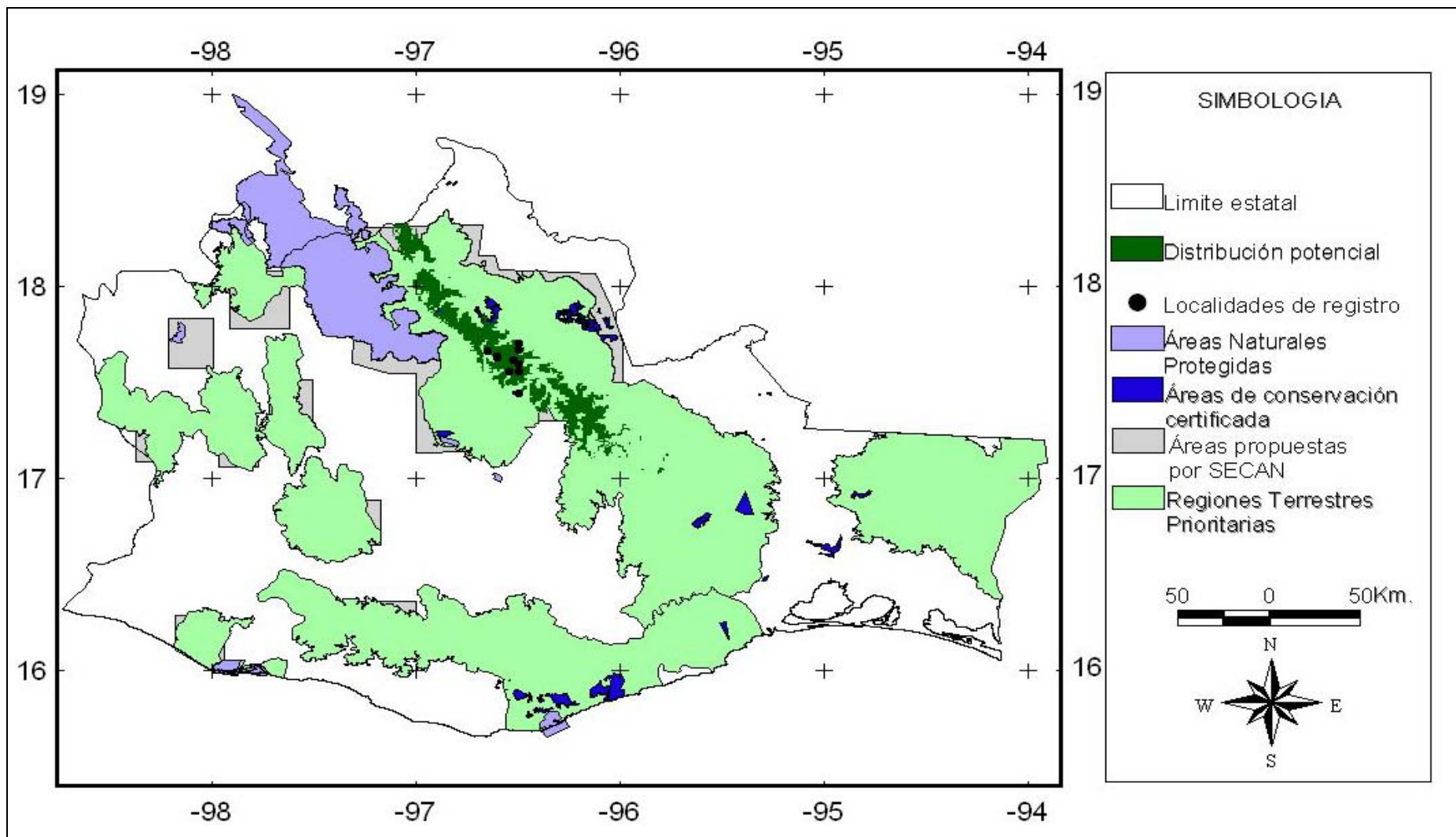


Fig. 10. Distribución potencial con base en el modelado de nicho de *Microtus oaxacensis*, en las Áreas Naturales Protegidas, Áreas de Conservación Certificada, Áreas Propuestas por SECAN, Regiones Terrestres Prioritarias.

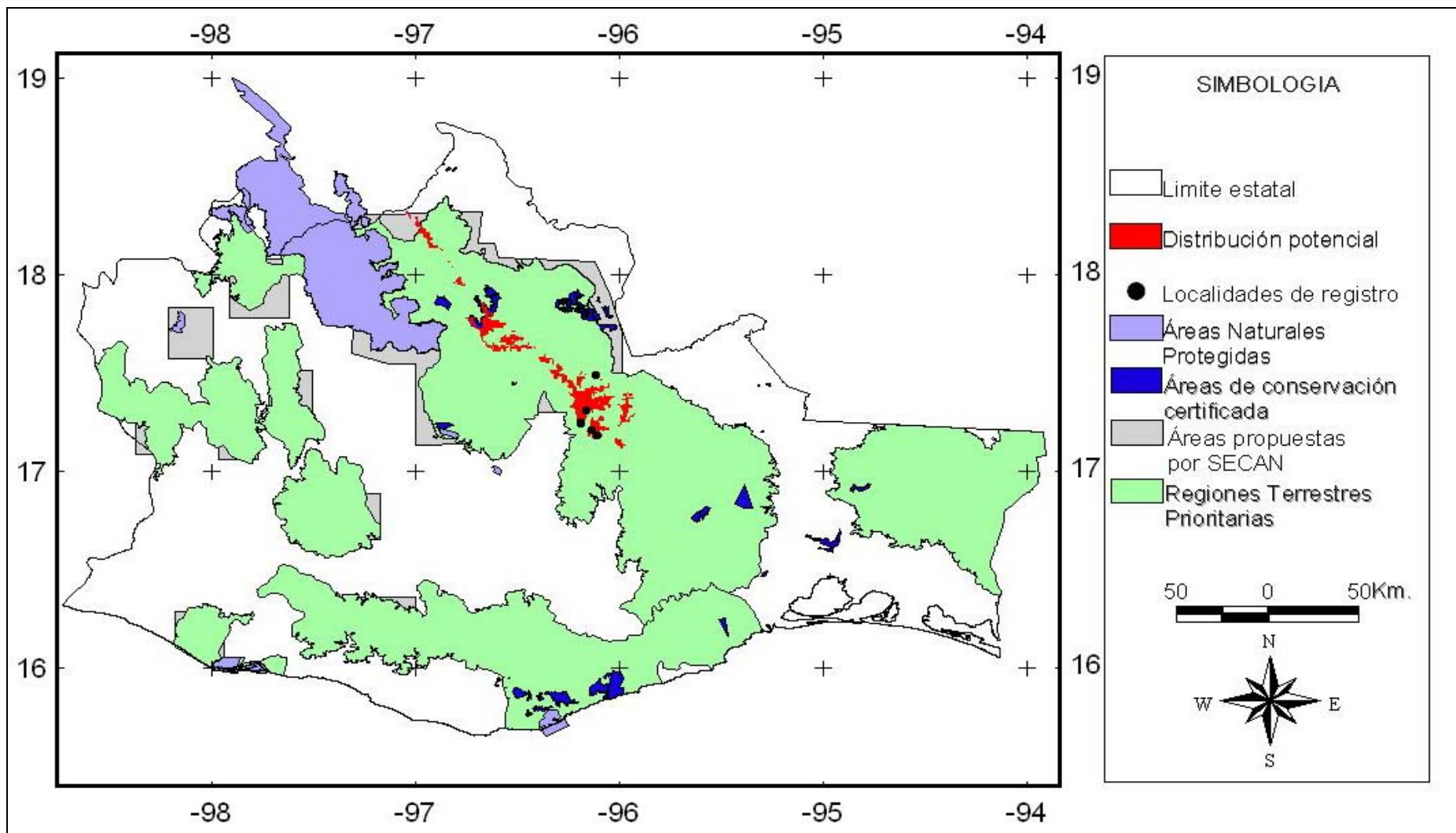


Fig. 11. Distribución potencial con base en el modelado de nicho de *Microtus umbrosus*, en las Áreas Naturales Protegidas, Áreas de Conservación Certificada, Áreas Propuestas por SECAN, Regiones Terrestres Prioritarias.

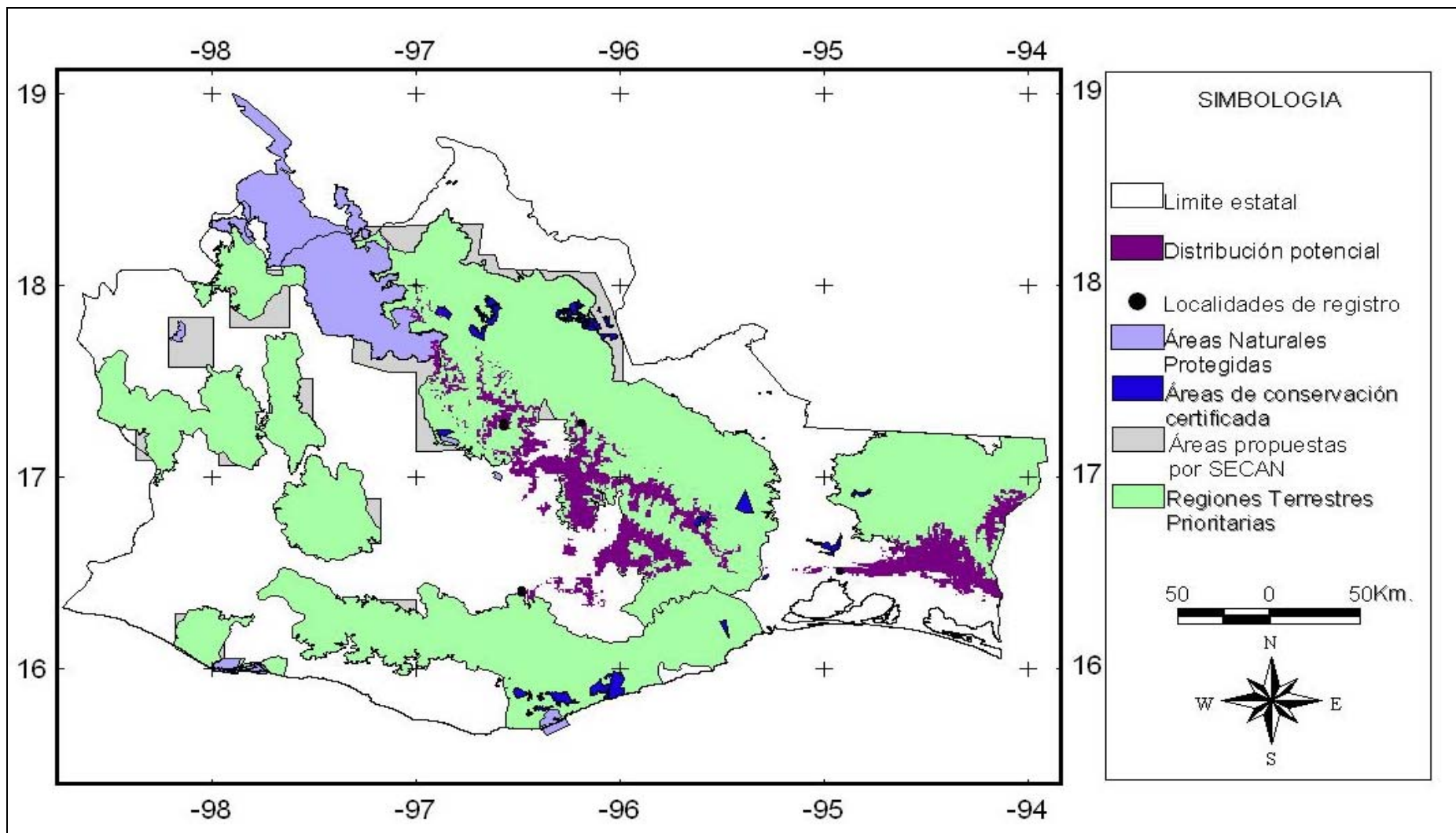


Fig. 12. Distribución potencial con base en el modelado de nicho de *Rheomys mexicanus*, en las Áreas Naturales Protegidas, Áreas de Conservación Certificada, Áreas Propuestas por SECAN, Regiones Terrestres Prioritarias.



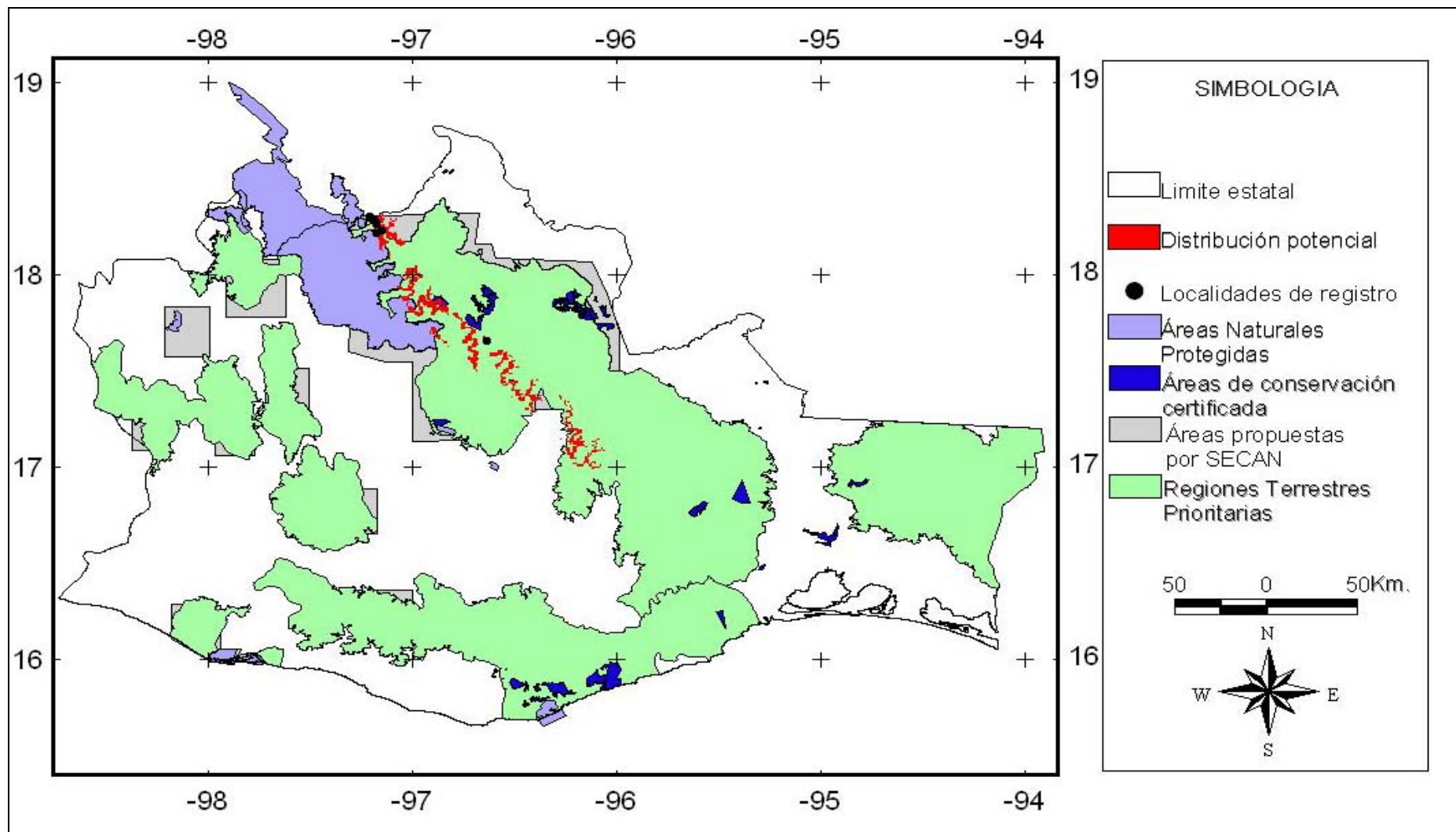


Fig. 13. Distribución potencial con base en el modelado de nicho de *Megadonthomys cryophilus*, en las Áreas Naturales Protegidas, Áreas de Conservación Certificada, Áreas Propuestas por SECAN, Regiones Terrestres Prioritarias.

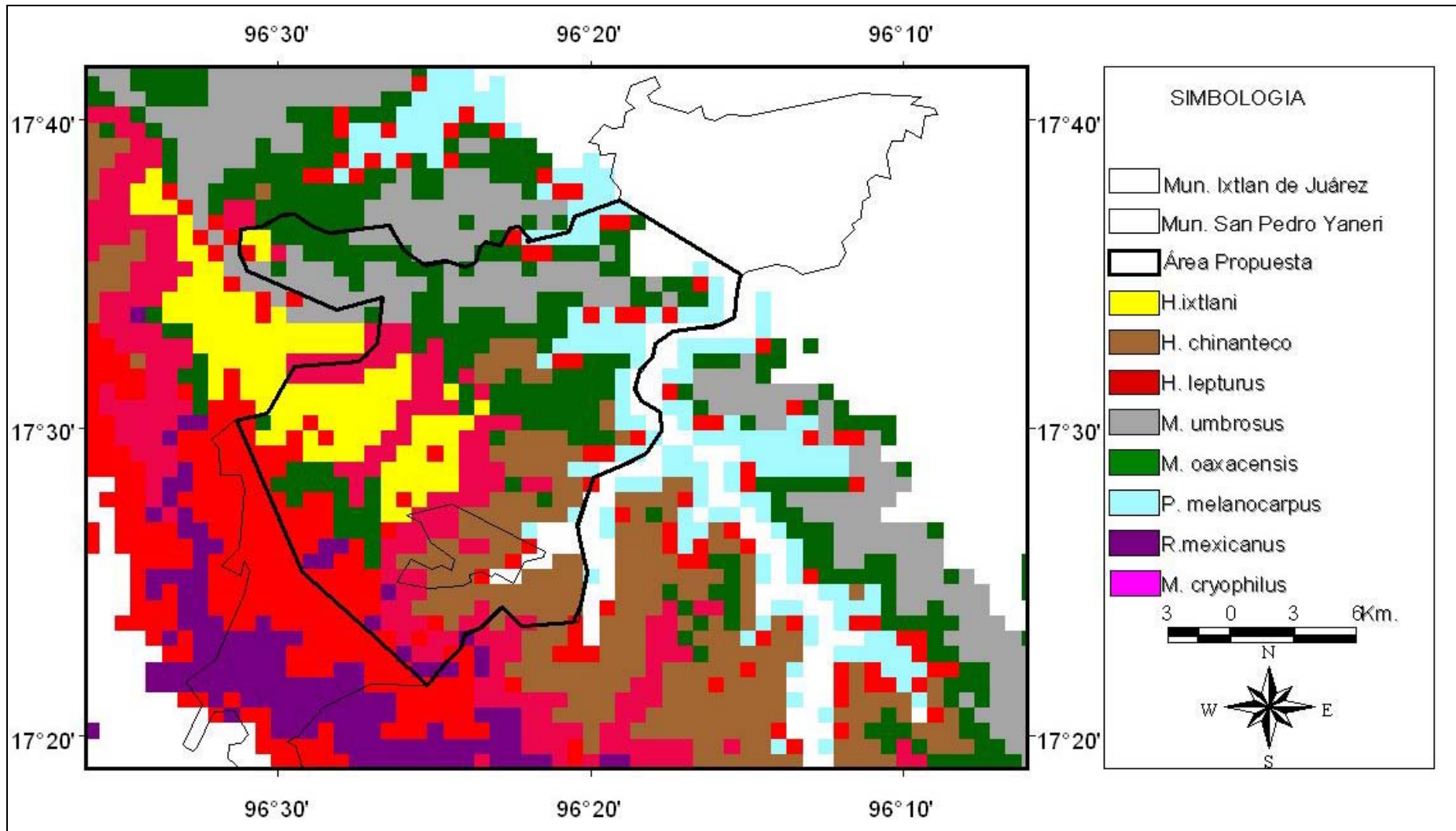


Fig. 14. Área donde convergen la distribución potencial de ocho especies de roedores, en el municipio de Ixtlan y San Pedro Yaneri.

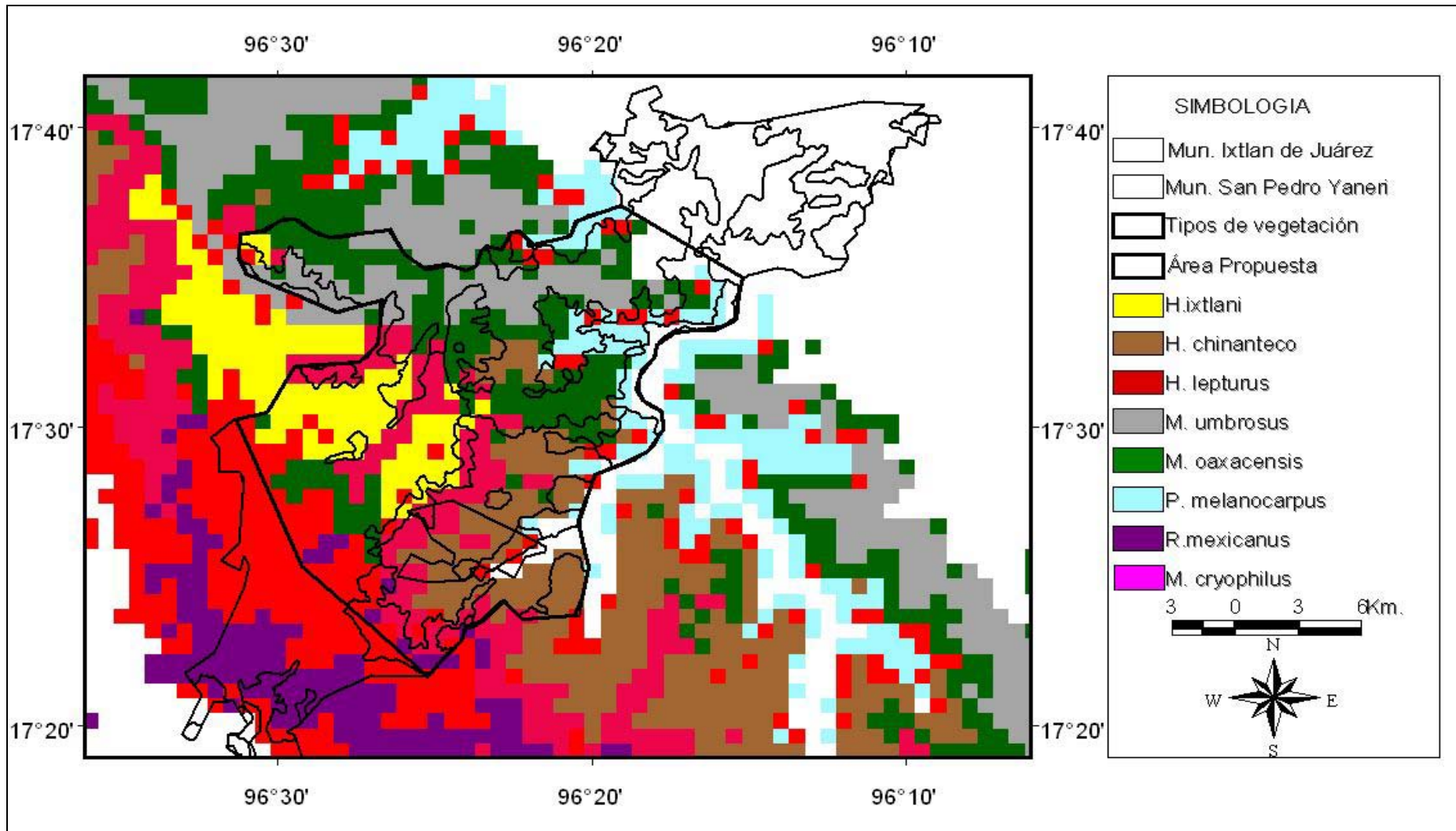


Fig. 15. Tipos de vegetación para el área de convergencia.

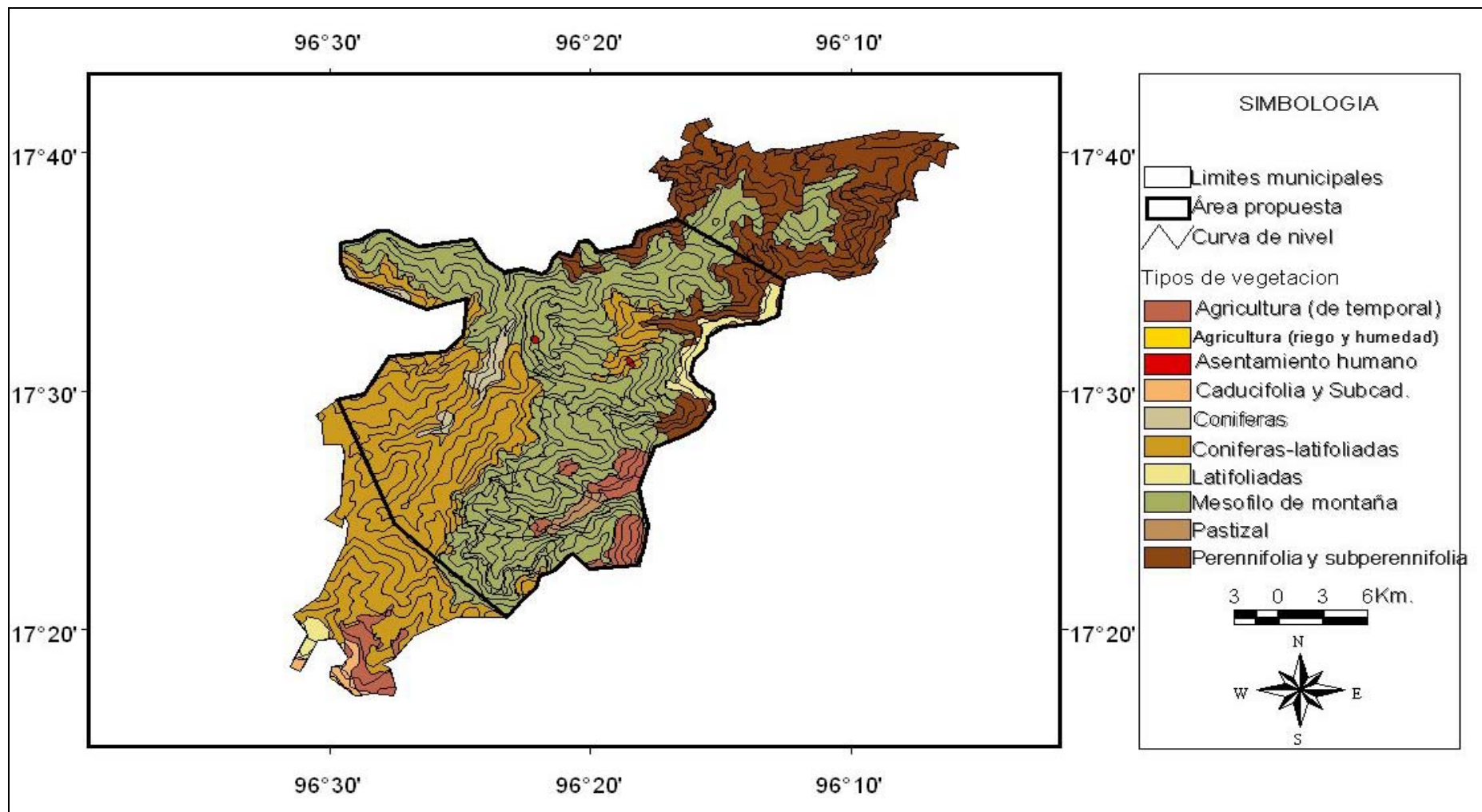


Fig. 16. Tipos de vegetación en el área propuesta a conservar.

# **ANEXO 2**

Cuadro. 1. Áreas Naturales Protegidas Decretadas para el estado de Oaxaca.

Denominación	Fecha de decreto	Tipo de decreto	Tipo de ANP	Superficie en (ha)	Latitud Norte	Longitud Oeste
Tehuacan-Cuicatlan	18-IX-1998	Federal	Reserva de la Biosfera	296,273	18° 02´	97° 33´
Benito Juárez	8-XII-1937	Federal	Parque Nacional	2,737	17° 11´	96° 42´
Huatulco	24-VII-1998	Federal	Parque Nacional	11,890	15° 47´	96° 13´
Lagunas de Chacahua	30-VI-1937	Federal	Parque Nacional	14,187	16° 02´	97° 45´
Playa de Escobilla	1986	Federal	Parque Nacional	75	no disponible	
Yagul	24-V-1999	Federal	Monumento Natural	1,076	16° 57´	96° 27´
Cerro Ta Mee	12-IX-1997	Estatal	Parque Estatal	20	17° 50´	96° 59´
Hierve El Agua	29-x-1997	Estatal	Parque Estatal	4,125	16° 55´	96° 17´
Parque Ecológico del Istmo	13-I-1998	Estatal	Parque Estatal	30	16° 28´	95° 02´

Fuente: Modificado de SEMARNAT

Cuadro 2. Áreas Naturales Protegidas ingresadas al SINAP en Oaxaca

AÑO	NOMBRE DEL ANP	SUPERFICIE EN (ha)	No. DE REGISTRO SINAP	FECHA DE AVISO EN D.O.F	INFORMACION DEL ANP
2000	Reserva de la Biosfera Tehuacan-Cuicatlán, Oaxaca y Puebla	490,187	SINAP 020	07 de Junio de 2000	Cedula de registro
2003	Parque Nacional Huatulco, Oaxaca	11,891	SINAP 048	27 de marzo de 2003	Cedula de registro

Fuente: CONANP, 2003

Cuadro 3. Regiones terrestres Prioritarias de Oaxaca.

No. RTP	Denominación	Entidad	Superficie (Km2)	Vegetación predominante
121	Valle de Tehuacan-Cuicatlan	Oaxaca-Puebla	6472	Selva baja caducifolia y agropecuaria
125	Cerros Negro-Yucaño	Oaxaca	1274	Agropecuaria y bosque de encino
126	Sierra Trique-Mixteca	Oaxaca	3051	Bosque de pino y agropecuaria
127	El Tlacuache	Oaxaca	2046	Bosque de pino
128	Bajo Río Verde-Chacahua	Oaxaca	957	Agropecuaria y Selva mediana subcaducifolia
129	Sierra Sur y Costa de Oaxaca	Oaxaca	9346	Bosque de pino
130	Sierras del Norte de Oaxaca-Mixe	Oaxaca, Puebla y Veracruz	19382	Bosque de pino, selva alta perennifolia y bosque mesofilo de montaña
132	Selva Zoque-La Sepultura	Oaxaca y Veracruz	11319	Selva alta perennifolia

Fuente: CONABIO.

Cuadro 4. Áreas naturales a proteger en Oaxaca propuestas por el Instituto Estatal de Ecología del Estado de Oaxaca.

Denominación	Región	Superficie
CUASIMULCO	SIERRA NORTE	400,150.00
CHIMALAPAS	ISTMO	1,184,689.80
COPALITA-ZIMATÁN	COSTA	194,620.00
CUMBRES DE SIERRA SUR	SIERRA SUR	116,689.19
CAÑADA DE TEOTITLÁN	CAÑADA	75,643.00
CAÑADA DE CUICATLAN	CAÑADA	25,027.00
CAÑON DEL RIO DE LAS VUELTAS	CAÑADA	26,353.00
SIERRA DE MONTEFLOR	SIERRA NORTE	40,460.00
RETUMBADERO	SIERRA NORTE	23,980.00
LOS PÁPALOS	CAÑADA	14,736.00
SAN BERNARDINO	SIERRA NORTE	7,710.00
CERRO RABON	PAPALOAPAN	11,500.00
CUENCA DEL RIO TEHUANTEPEC	ISTMO	239,070.00
ZONA CHONTAL BAJA	COSTA	67,625.00
SIERRA VIENTE CERROS	PAPALOAPAN	52,295.00
CERRO NEGRO	SIERRA NORTE	51,920.00
USILA	PAPALOAPAN	39,380.00
YOTAO	SIERRA NORTE	23,740.00

Fuente: Modificada de SECAN

Cuadro 5. Base de datos de las localidades de registro de los roedores endémicos de Oaxaca.

Especies	Longitud	Latitud
<i>Habromys ixtlani</i>	-96.4906	17.5819
<i>Habromys ixtlani</i>	-96.4166	17.4736
<i>Habromys ixtlani</i>	-96.4872	17.4767
<i>Habromys ixtlani</i>	-96.4933	17.5900
<i>Habromys ixtlani</i>	-96.4820	17.5799
<i>Habromys ixtlani</i>	-96.4910	17.5820
<i>Habromys ixtlani</i>	-96.4930	17.5820
<i>Habromys chinanteco</i>	-96.3436	17.3734
<i>Habromys chinanteco</i>	-96.3436	17.3490
<i>Habromys chinanteco</i>	-96.3436	17.3472
<i>Habromys chinanteco</i>	-96.3436	17.3473
<i>Habromys chinanteco</i>	-96.3436	17.5237
<i>Habromys chinanteco</i>	-96.3433	17.5236
<i>Habromys chinanteco</i>	-96.3436	17.3488
<i>Habromys lepturus</i>	-95.9831	17.4194
<i>Habromys lepturus</i>	-96.4872	17.5058
<i>Habromys lepturus</i>	-96.4910	17.5820
<i>Habromys lepturus</i>	-95.9550	17.1020
<i>Habromys lepturus</i>	-95.9640	17.0030
<i>Habromys lepturus</i>	-96.0090	17.1410
<i>Habromys lepturus</i>	-96.0490	17.1860
<i>Habromys lepturus</i>	-96.4900	17.3300
<i>Habromys lepturus</i>	-96.4900	17.5000
<i>Habromys lepturus</i>	-96.6694	17.4267
<i>Habromys lepturus</i>	-96.5036	17.4464
<i>Habromys lepturus</i>	-95.9967	17.1517
<i>Habromys lepturus</i>	-95.9731	17.1238
<i>Habromys lepturus</i>	-96.5040	17.4460
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.0050	17.2370
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.0090	17.1410
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.0190	17.1410
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.0490	17.1820
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.0490	17.1860
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.0490	17.1680
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.2470	17.5170
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3000	17.4400
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3080	17.6270
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3120	17.5750
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.6038
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.6241
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.4801
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.5957
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.5913
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.3734
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.6097
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.5941
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.5237
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.4822
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.4349
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.3473
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.5237
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.4349



<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.3734
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.5502
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.5237
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.4424
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.5056
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.3789
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3436	17.4424
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3550	17.6140
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3568	17.6070
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3627	17.5937
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3690	17.6360
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3690	17.5540
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3690	17.5170
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3709	17.5414
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3813	17.5506
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3890	17.4853
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.3900	17.6147
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.4410	17.5620
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.4480	17.5560
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.4703	17.5903
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.4870	17.4770
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.4910	17.5820
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.5040	17.4460
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.5094	17.5544
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.6690	17.4270
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-96.9980	18.1520
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	-97.8560	20.6070
<i>Peromyscus melanurus</i>	-97.2046	16.1091
<i>Peromyscus melanurus</i>	-96.4922	16.1281
<i>Peromyscus melanurus</i>	-96.4922	16.1102
<i>Peromyscus melanurus</i>	-97.0823	16.0967
<i>Peromyscus melanurus</i>	-97.0823	16.3441
<i>Peromyscus melanurus</i>	-97.0823	16.3739
<i>Peromyscus melanurus</i>	-97.0823	16.3441
<i>Peromyscus melanurus</i>	-96.4180	15.9540
<i>Peromyscus melanurus</i>	-96.8930	16.2322
<i>Peromyscus melanurus</i>	-97.0870	16.2099
<i>Peromyscus melanurus</i>	-97.0870	16.1954
<i>Peromyscus melanurus</i>	-96.8930	16.2322
<i>Peromyscus melanurus</i>	-96.5308	15.9825
<i>Peromyscus melanurus</i>	-97.0822	16.4286
<i>Peromyscus melanurus</i>	-97.6222	16.0708
<i>Peromyscus melanurus</i>	-97.6398	16.1414
<i>Peromyscus melanurus</i>	-97.6643	16.2101
<i>Peromyscus melanurus</i>	-97.0822	16.1797
<i>Peromyscus melanurus</i>	-97.8530	16.9960
<i>Peromyscus melanurus</i>	-97.1330	16.2320
<i>Peromyscus melanurus</i>	-97.0800	16.1580
<i>Peromyscus melanurus</i>	-97.0570	16.1420
<i>Peromyscus melanurus</i>	-96.4182	15.9250
<i>Peromyscus melanurus</i>	-97.1333	16.2319
<i>Peromyscus melanurus</i>	-97.8531	16.9958
<i>Microtus oaxacensis</i>	-96.4910	17.5820
<i>Microtus oaxacensis</i>	-96.3709	17.5414

<i>Microtus oaxacensis</i>	-96.3890	17.4853
<i>Microtus oaxacensis</i>	-96.3436	17.6241
<i>Microtus oaxacensis</i>	-96.3436	17.4801
<i>Microtus oaxacensis</i>	-96.3436	17.3734
<i>Microtus oaxacensis</i>	-96.3436	17.5913
<i>Microtus oaxacensis</i>	-96.3436	17.5237
<i>Microtus oaxacensis</i>	-96.3436	17.4822
<i>Microtus oaxacensis</i>	-96.3436	17.4801
<i>Microtus oaxacensis</i>	-96.3436	17.5237
<i>Microtus oaxacensis</i>	-96.4480	17.5560
<i>Microtus oaxacensis</i>	-96.4910	17.5820
<i>Microtus oaxacensis</i>	-98.7240	20.2050
<i>Microtus oaxacensis</i>	-96.4475	17.5558
<i>Microtus oaxacensis</i>	-96.4906	17.5819
<i>Microtus oaxacensis</i>	-96.3709	17.5414
<i>Microtus oaxacensis</i>	-96.3890	17.4853
<i>Microtus oaxacensis</i>	-96.3436	17.6241
<i>Microtus oaxacensis</i>	-96.3436	17.4801
<i>Microtus umbrosus</i>	-95.9831	17.4194
<i>Microtus umbrosus</i>	-95.9731	17.1238
<i>Microtus umbrosus</i>	-96.0490	17.1860
<i>Microtus umbrosus</i>	-96.0490	17.1820
<i>Microtus umbrosus</i>	-96.0241	17.2473
<i>Microtus umbrosus</i>	-95.9967	17.1517
<i>Rheomys mexicanus</i>	-96.3353	16.3778
<i>Rheomys mexicanus</i>	-94.8297	16.4750
<i>Rheomys mexicanus</i>	-96.0500	17.2167
<i>Rheomys mexicanus</i>	-96.4186	17.2211
<i>Rheomys mexicanus</i>	-96.3352	16.3699
<i>Rheomys mexicanus</i>	-96.0499	17.2200
<i>Rheomys mexicanus</i>	-94.8300	16.4760
<i>Rheomys mexicanus</i>	-96.4188	17.2000
<i>Megadonthomys cryophilus</i>	-96.9980	18.1660
<i>Megadonthomys cryophilus</i>	-97.0340	18.1980
<i>Megadonthomys cryophilus</i>	-97.0200	18.1850
<i>Megadonthomys cryophilus</i>	-96.9960	18.1610
<i>Megadonthomys cryophilus</i>	-96.9980	18.1200
<i>Megadonthomys cryophilus</i>	-96.9720	18.1280
<i>Megadonthomys cryophilus</i>	-96.4800	17.5800

Cuadro 6. Variables utilizadas en el modelado de nicho.

VARIABLES	SIGNIFICADO
BIO1	Temperatura media anual.
BIO2	Rango medio anual (promedio máxima temperatura mínima temperatura
BIO3	Isotermalidad
BIO4	Temperatura estacional
BIO5	Máxima temperatura del mes
BIO6	Minima temperatura del mes
BIO7	Rango anual de temperatura
BIO8	Temperatura promedio del cuatrimestre más húmedo
BIO9	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco
BIO10	Temperatura promedio del cuatrimestre más caliente
BIO11	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío
BIO12	Precipitación anual.
BIO13	Precipitación del mes más caliente
BIO14	Precipitación del mes más frío
BIO15	Precipitación estacional (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del cuatrimestre más húmedo
BIO17	Precipitación del cuatrimestre más seco
BIO18	Precipitación del cuatrimestre más caliente
BIO19	Precipitación del cuatrimestre más frío

Cuadro 7. Validación estadística de los modelos generados en GARP.

Peromyscus melanocarpus	No. de pto. que cae en c/modelo	no. de pto. que no caen en c/modelo	% Omisión	No. total de puntos	Área de presencia	Área total	Exponente1 (Si)	Exponente2 (No)	Ji-Cuadrada	P
All 10 models	19	6	24	25	7354	18168	10.1194408	14.8805592	13.093172	0.00029637
>8	2	23	92	25	498	18168	0.68527081	24.3147292	2.59346837	0.10730515
>7	2	23	92	25	1359	18168	1.87004624	23.1299538	0.00976092	0.92129917
>6	1	24	96	25	687	18168	0.94534346	24.0546565	0.00328424	0.95429959
>5	0	25	100	25	470	18168	0.64674152	24.3532585	0.66391683	0.41518055
>4	0	25	100	25	996	18168	1.37054161	23.6294584	1.45003494	0.22852247
>3	0	25	100	25	485	18168	0.66738221	24.3326178	0.68568682	0.40763534
>2	1	24	96	25	912	18168	1.25495376	23.7450462	0.05453334	0.81535473
>1	0	25	100	25	2404	18168	3.30801409	21.6919859	3.81248414	0.05087196
>0	0	25	100	25	3003	18168	4.13226552	20.8677345	4.95054402	0.02608246

18168

Cuadro 8. Validación estadística de los modelos generado en GARP.

No. Puntos totales de presencia	Puntos predichos por el modelo	% de puntos predichos	% Área predicha	Puntos Esperados teóricos	Ji cuadrada	Valor de P
25	25	100	16.1697431	4.0	<b>129.609754</b>	<b>0.00000</b>
Total de pixeles	Píxeles presencia					
112358	18168	16.1697431				