

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA



**“DISTRIBUCIÓN DE LOS ROEDORES DEL
VOLCÁN LA MALINCHE, TLAXCALA”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN BIOLGIA

PRESENTA:

Luis Alberto Talavera Cisneros

Director de tesis: Dr. José Ramírez Pulido

Asesora: Dra. A. Alondra Castro Campillo

Asesor: Dr. José Alejandro Zavala Hurtado

Abril 2006



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE IDÓNEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS

No. 00022

DISTRIBUCION DE LOS ROEDORES DEL VOLCAN LA MALINCHE, TLAXCALA.

En México, D.F., se presentaron a las 10:00 horas del día 25 del mes de abril del año 2006 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

- DR. JOSE RAMIREZ PULIDO
- DRA. AURORA ALONDRA CASTRO CAMPILLO
- DR. MANUEL ARNOLDO CASTILLO RIVERA
- M. EN C. YOLANDA HORTELANO MONCADA
- DR. JOSE ALEJANDRO ZAVALA HURTADO

Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretario el último, se reunieron a la presentación de la Comunicación de Resultados cuya denominación aparece en el acta, para la obtención del grado de:

MAESTRO EN BIOLOGIA
DE: LUIS ALBERTO TALAVERA CISNEROS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
DIRECCION DE SISTEMAS ESCOLARES
sa abierta al tiempo

LUIS ALBERTO TALAVERA CISNEROS
FIRMA DEL ALUMNO

De acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

APROBAR

REVISÓ

LIC. JULIO CESAR DE LARA ISASSI
DIRECTOR DE SISTEMAS ESCOLARES

Acto continuo, el presidente del jurado comunicó al interesado el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.

DIRECTOR DE LA DIVISION DE CBS

DR. JOSE FRANCISCO FLORES
PEDROCHE

PRESIDENTE

DR. JOSE RAMIREZ PULIDO

VOCAL

DRA. AURORA ALONDRA CASTRO
CAMPILLO

VOCAL

DR. MANUEL ARNOLDO CASTILLO
RIVERA

VOCAL

M. EN C. YOLANDA HORTELANO
MONCADA

SECRETARIO

DR. JOSE ALEJANDRO ZAVALA
HURTADO

1. INTRODUCCIÓN

Conocer la distribución de los organismos a nivel global, es interesante por numerosas razones: identificar zonas ricas en recursos, investigar las interacciones de competencia o cooperación entre individuos, reconocer la influencia de algunos individuos sobre otros, comprender la estructura social dentro de una población, identificar regiones aprovechadas por la población o la comunidad, entre otras. La estimación de la variedad de especies representa el primer paso para el estudio de la distribución espacial de una población (Smith y Smith 2001) y, en este sentido, los acervos de las colecciones científicas representan un punto de partida, ya que en ellas, los ejemplares capturados han sido identificados y catalogados por expertos (Ramírez-Pulido *et al.* 1989), además de otras ventajas que se mencionan más adelante.

Ahora bien, la distribución geográfica de las especies y los factores que la determinan han sido objeto de numerosos estudios ecológicos (Brown *et al.* 1996). Los primeros estudios en este sentido generalmente eran aplicados a comprender la distribución de especies de importancia comercial. Posteriormente, aparecieron estudios en los que se analizó la distribución de las especies desde un punto de vista ecológico en donde las primeras generalizaciones que se propusieron estuvieron relacionadas con los límites de la distribución de las especies; así por ejemplo, para el caso del hemisferio norte, estaban determinados por factores climáticos, mientras que para el hemisferio sur, dependían más de las interacciones ecológicas entre especies (Dobzhansky 1950).

La idea de que las áreas de distribución de las especies pueden predecirse con base a datos climáticos sigue analizándose en estudios ecológicos (Root 1988). Pero, una variante en estos estudios es asociar la distribución de especies animales con la disponibilidad de ciertos hábitats, considerados adecuados para la especie en cuestión. De esta manera y con la ayuda de la tecnología de los sistemas de información geográfica, es posible producir modelos predictivos sobre los patrones de distribución de las especies (Scott *et al.* 1996).

Okland (1992) menciona que la relación entre la distribución y las variables ambientales generalmente se estudia a la luz de un gradiente; este concepto de gradiente ambiental ha sido un punto crucial en la teoría ecológica. Por su parte, Austin *et al.* (1984) reconocen básicamente tres tipos de gradientes ambientales. Uno se refiere a los gradientes indirectos, los cuales no tienen influencia inmediata sobre los organismos, como sería la variación en la diversidad de

mamíferos a lo largo de una pendiente (*e. g.*, gradiente altitudinal). Los gradientes directos que sí tienen efectos *de facto* sobre los organismos (*e. g.*, pH); éstos gradientes no necesariamente son recursos bióticos. Finalmente, está el gradiente de recurso (*e. g.*, alimentos); la variación de las especies de roedores, no es el resultado directo de la pendiente, sino de las condiciones que ocasiona la pendiente (*e. g.*, clima).

Diversos estudios han avanzado para explicar los patrones de distribución de especies a lo largo de un gradiente altitudinal. La reducción del área, el cambio en factores abióticos y los factores bióticos correlacionados con el aumento de la altitud se han sugerido como mecanismos que promueven los patrones observados (Lomolino 2001). Además, muchos estudios se han centrado en efectos indirectos del clima sobre comunidades de mamíferos, tales como los tipos de vegetación, para explicar la organización y la diferenciación de la comunidad (Hernández 2001). Sin embargo, las condiciones en que viven la mayoría de los organismos no corresponden exactamente a las del clima global, ya que éstos habitan en microclimas. A su vez, los microclimas son regulados por la vegetación de una zona, especialmente al nivel del suelo, al influir sobre la humedad, la evaporación y la temperatura. (Smith y Smith 2001).

Si bien la distribución de los organismos es un reflejo de las variables medioambientales, el conocimiento de las causas que influyen en la distribución es aún incipiente. En años recientes, se ha enfatizado en México la importancia de modelar la distribución de especies con fines enfocados a identificar patrones de distribución, ubicación de áreas de alta densidad de especies y endemismo, así como áreas importantes de conservación (Arita *et al.* 1997, Sánchez-Cordero *et al.* 2001). En nuestro país, la topografía unida a las diferencias determinadas por la altitud y la latitud dan como resultado un mosaico climático con grandes variantes que influyen en la fauna (Álvarez y De la Chica 1974).

Por sus características particulares, el Volcán La Malinche brinda la oportunidad de hacer el análisis de los patrones de distribución de las especies de roedores silvestres que lo habitan. Este volcán se caracteriza fisiográficamente por tres factores importantes: los procesos orogénicos que lo han configurado; la altitud, que va de los 2300 a los 4460 m; el considerable deterioro causado por la intensa actividad agrícola y forestal (SPP 1981). Además, en un sentido biogeográfico, esta entidad geomorfológica podría ser considerada como una isla ecológica, por su relativo aislamiento de formaciones afines en el Eje Volcánico Transversal (EVT), ya la Cuenca de Oriental lo separa, por el lado E, del conjunto Pico de Orizaba-Cofre de Perote,

mientras que el Valle de Puebla lo hace del conjunto Popocatepetl-Iztaccíhuatl en la dirección W.

En consecuencia, es posible que en el complejo escenario de La Malinche, la influencia de los factores abióticos (topografía, factores climáticos, temperatura, precipitación, altitud y latitud) y bióticos (tipos de vegetación), determinen la distribución de los roedores. El objetivo general de este trabajo es establecer si la distribución de las especies silvestres de roedores, es afectada por los factores bióticos (tipos de vegetación) y abióticos (factores climáticos, etc.) a lo largo de un gradiente altitudinal en el Volcán La Malinche. Si ese es el caso, entonces también se espera aclarar cómo es que estos factores afectan la distribución de los roedores en esta entidad geomorfológica. O dicho de otra manera, ¿Existe relación entre los factores o variables ambientales y los patrones de distribución de roedores silvestres en La Malinche? ¿Cuáles son los factores ambientales que afectan en mayor medida esos patrones?

Para abordar este objetivo se analiza la distribución de las especies de roedores depositadas en la UAMI, así como cartografía ambiental y topográfica. A partir de un Sistema de Información Geográfica (SIG), se obtuvieron cinco variables ambientales seleccionadas como abióticas (altitud, precipitación, temperatura y tipos de suelo y de clima) y una variable biótica (vegetación). La información así recabada fue explorada y analizada por medio de técnicas estadísticas que permitieron identificar tendencias en la relación entre la distribución de los roedores y las variables ambientales en el Volcán La Malinche. Los análisis también consideraron las relaciones entre las variables y las especies, a fin de entender su efecto sobre la distribución de los roedores en ese lugar. Los resultados, que muestran la influencia de las variables consideradas sobre la distribución de los roedores, permiten entender y predecir algunas asociaciones geográficas interespecíficas en el Volcán La Malinche, las cuales pueden ser analizadas y comparadas en otras entidades geomorfológicas que tengan condiciones semejantes en el Eje Volcánico Transversal.

2. ANTECEDENTES

Como resultado de los trabajos para documentar la diversidad y los patrones de distribución mastofaunística en el EVT, que está llevando a cabo el grupo del Dr. José Ramírez Pulido del Laboratorio de mastozoología de la UAM, se tienen alojados 832 ejemplares de roedores silvestres en la Colección de mamíferos de la UAMI. Estos ejemplares, se recolectaron

entre los años de 1979 y 1985, en 26 localidades específicas del Volcán La Malinche y todos los ellos han sido identificados y catalogados como pertenecientes a cuatro familias, nueve géneros y 14 especies (Tabla 1).

Al respecto y de acuerdo con Ramírez Pulido *et al.* (1989), en tiempos recientes, la consulta a las colecciones científicas ha aumentado, ya que todos los países civilizados del mundo aspiran a conocer su patrimonio faunístico como un compromiso histórico para las generaciones futuras. Estos autores señalan que las especies funcionan en la naturaleza como unidades ecológicas, reproductivas y evolutivas; es decir, son entidades cambiantes en el tiempo y en el espacio, se diversifican, se extinguen, aumentan y disminuyen su área de distribución geográfica. Todos estos cambios pueden explorarse con los registros de captura y con la preservación de especímenes en colecciones científicas. En este sentido, los acervos depositados en las colecciones científicas tienen gran valor para el conocimiento de la fauna nativa de un lugar determinado y, en consecuencia, representan un punto de partida para proponer las políticas necesarias, tendientes al manejo y conservación de ese recurso natural renovable.

Los ejemplares de las colecciones están asociados con información escrita en diversos registros (Ramírez Pulido *et al.* 1989) los cuales proporcionan evidencias invaluable tanto de las condiciones ambientales como del tipo de fauna existente en un espacio y un tiempo determinados. Por ende, los ejemplares y sus registros también son pruebas fehacientes para cuantificar y calificar niveles de deterioro ambiental, ya que la destrucción del hábitat como resultado de la urbanización, de la construcción de obras de infraestructura, de la apertura de nuevas tierras de cultivo y del aprovechamiento de los recursos naturales para su comercialización como los maderables, conducen a la alteración profunda de los ecosistemas con la consecuente desaparición de flora y fauna nativas.

3. AREA DE ESTUDIO

3.1. Volcán La Malinche

De acuerdo con Vargas (1984), los antiguos tlaxcaltecas llamaron a este volcán “Matlalcueyatl” (mujer de faldas largas), debido precisamente a su conformación que algunos historiadores describen como una mujer encorvada en la parte alta y a las zonas arboladas de las partes bajas, acomodadas de acuerdo a sus múltiples barrancas que aparentan ser una falda de

variadas ondas. Después de la llegada de los españoles, se le da al volcán el nombre de “Malitzin”, de donde se derivó el nombre actual de Volcán La Malinche.

Ubicado en la zona central oriente de México (Fig. 1), el Volcán La Malinche se encuentra en los límites de los estados de Puebla y Tlaxcala, correspondiendo a este último la mayor parte del actual Parque Nacional “La Malinche”. Por el área que abarca, poco más de 30 km de diámetro, es uno de los más extensos del país, sus faldas se tienden radialmente con pendientes poco pronunciadas a partir de los 2300 m, y las centrales son muy escarpadas y se levantan desde unos 3300 m hasta los 4460 m. En el estado de Tlaxcala, la entidad involucra a los Municipios de San Juan Ixtenco, Chiautempan, Huamantla, Teolochocho, Zitlatepec, Tzompantepec, Mezatecochocho, Acuamánalá, Contla y San Pablo del Monte.

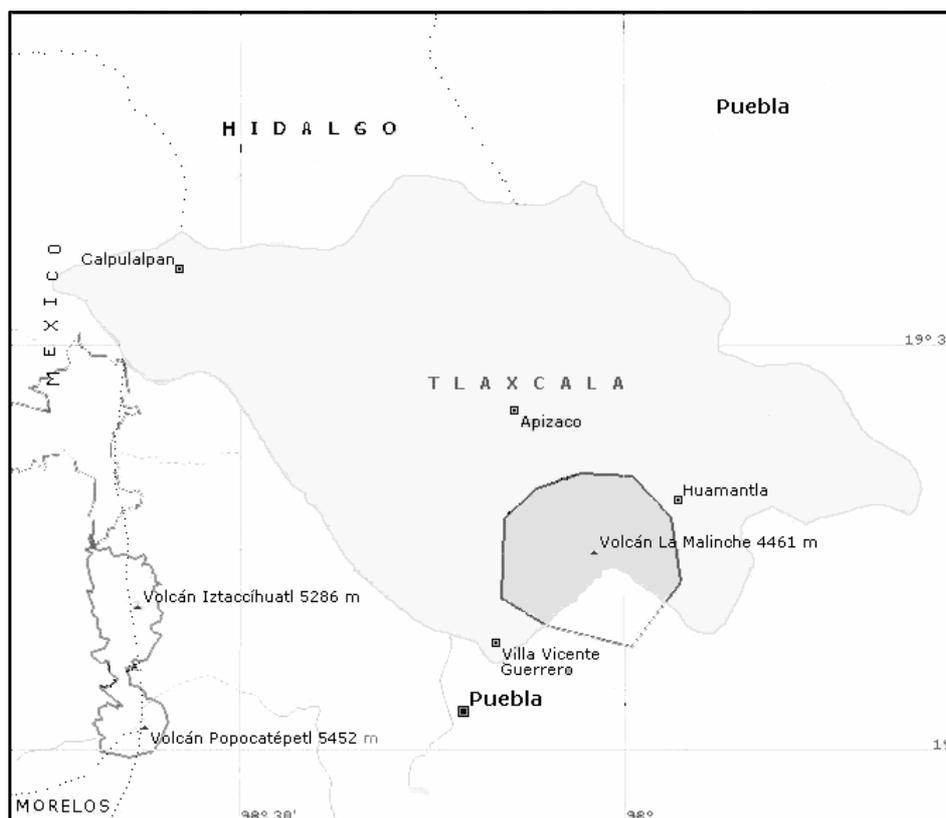


Figura 1.- Ubicación del Volcán La Malinche, el cual constituye el Parque Nacional del mismo nombre en los estados de Tlaxcala y Puebla, modificado de Biblioteca de Consulta Microsoft® Encarta® 2003.

Con base en las coordenadas geográficas de cada localidad específica de recolecta que se encuentran en la base de datos de la UAMI, en este estudio las coordenadas geográficas que

delimitan al volcán van de los 19° 05' 30'' a los 19° 20' 00'' de latitud Norte a los 97° 55' 30'' 98° 10' 00'' de longitud Oeste.

3.2. Aspectos Físicos

Geomorfología y Altitud

En su estudio sobre Parques Nacionales, Vargas (1984) menciona las características físicas del Volcán La Malinche, el cual se ubica de manera intermedia entre los conjuntos volcánicos que forman el Pico de Orizaba con el Cofre de Perote al E y el Popocatepetl con el Iztaccihuatl al Oeste; de este último conjunto, La Malinche se encuentra a 50 km aproximadamente.

Por su altura (4,460 msnm), el Volcán La Malinche es la quinta elevación de importancia en la República Mexicana; además, es uno de los volcanes más viejos del EVT, pues su formación data de las postrimerías del Mioceno. Esta prominencia es el resultado de la intensa actividad volcánica que formó el EVT. Desde el punto de vista geomorfológico, es un cono volcánico, ligeramente alargado en su base, perfectamente aislado, que ofrece un perfil uniforme con una diadema de rocas y dos picachos secundarios llamados La Tetilla y Xaltonate, respectivamente. Su cima tiene forma de cresta dentada con varios picos y su falda es muy amplia; la parte más alta se cubre de nieve en invierno y sus laderas se hallan surcadas de profundas barrancas que radian de su cima, las cuales están cubiertas en parte por coníferas y tierras de cultivo. Partiendo desde la cumbre hasta la cota de los 4,000 m, se encuentra una transición en la formación geológica constituida por el depósito de cenizas volcánicas (López-Ramos 1979)

Clima

Heine (1973) en su estudio realizado para la Fundación Alemana para la Investigación Científica sobre la Clasificación del Clima en la Región Tlaxcala, distingue cuatro tipos de clima en La Malinche, de acuerdo con la altitud. Entre los 2400 – 2700 msnm el clima es semifrío, subárido, seco con una temperatura media anual de 14° C y precipitación menor a los 400 mm. Entre los 2700 – 3300 msnm es frío con una temperatura media anual de 11° C y precipitación de 400 - 800 mm. Entre los 3300 – 4000 m es helado con una temperatura media anual de 7° C y precipitación de 800 - 1200mm. Entre los 4000 - 4500msnm, es subnevado con una temperatura

media anual de 3 °C y precipitación mayor a 1200mm. Por otra parte, en la base de datos del SIG del programa Biótica (V. 4.1, CONABIO), se manejan también cuatro tipos de clima, basados en García (1990), los cuales tienen las siguientes características de acuerdo con la descripción de Rebollo Phillipe (com. pers., junio 2005) y (García 1981), los cuales son los que se tomaron en cuenta para el análisis:

- a) C(w₁).- Clima templado subhúmedo, con régimen de lluvias de verano, el subtipo intermedio en cuanto a humedad (coeficiente P/T entre 43.2 y 55.0). La temperatura media anual va de los 12-18 °C y la precipitación de los 600-1200 mm.
- b) C(w₂).- Clima templado, subhúmedo, con régimen de lluvias de verano, el subtipo más húmedo (coeficiente P/T mayor de 55.0). El comportamiento de la T y la P son como en el inciso anterior.
- c) Cb'(w₂).- Clima semifrío subhúmedo, con régimen de lluvias de verano, el subtipo más húmedo de los subhúmedos (coeficiente P/T mayor de 55.0) con verano fresco, largo. La temperatura media del mes más caliente superior a 22 °C, pero la media anual oscila entre los 5 y 12 °C y la precipitación anual es como en los incisos anteriores.
- d) ETCHw.- Clima frío de tundra con temperatura media del mes más caliente inferior a 10 °C y mayor de 0 °C. La temperatura del mes más frío es mayor de -3 °C; este clima se encuentra a una altitud mayor a 1500 msnm y presenta lluvias en el verano. La temperatura anual oscila entre los -2 °C y los 5 °C. La precipitación anual es como en los incisos anteriores.

Suelos

En La Malinche abundan los Regosoles eutrícos, calcáridos y dístrícos, de textura arenosa, con desarrollo moderado y limitados por una fase lítica y pedregosa. Se presentan también con bastante frecuencia Fluvisoles eutrícos que, en estos casos, están formados por materiales volcánicos acarreados por el agua. Asociados a estos tipos de suelo, se encuentran algunos Cambisoles y Litosoles; mientras que en las cercanías del volcán se presentan, aunque en una extensión reducida, Andosoles mólicos, suelos de desarrollo moderado, derivados de cenizas volcánicas (SPP 1981).

3.3. Aspectos Biológicos

Vegetación.

La Pradera de alta montaña está conformada por especies de pastos de pocos centímetros de altura, como *Festuca amplissima*, *Muhlenbergia macroura*, *Stipa ichu* y *Eryngium* spp. Se restringe a los 4000-4500 msnm, por arriba del límite de distribución de árboles, con una precipitación de 600-800 mm y una temperatura de 3-5 °C (Rzendowski 1978), en La Malinche la encontramos de los 3600-4460 m. El bosque de Encino esta conformado por especies del género *Quercus*, se distribuyen desde nivel del mar hasta los 3,000 m, sin embargo el 95 % se encuentran de los 1200 a 2800 m.

El bosque de pinos es el de mayor importancia, representado por el género *Pinus*, que se distribuye desde los 150 hasta los 4100 msnm. Le sigue en importancia el bosque de Oyamel representado por el género *Abies*, entre los 2000 a los 4000 m de altura de manera general, en zonas de clima semifrío y húmedo (Rzendowski 1978), en la Malinche se encuentra por arriba de los 3,000 m, de clima templado frío (semifrío), por lo que, en general, la vegetación nativa es propia de éste y del clima frío e incluye especies dotadas para resistir bajas temperaturas como el oyamel (*Abies religiosa*), el encino (*Quercus* sp.), el pino (*Pinus* sp.), el enebro (*Juniperus communis*) y el sabino (*Juniperus deppeana*), entre otras (SPP 1981), las cuales predominan en bosques de oyamel, oyamel-pino, pino y pino-encino, de acuerdo con un gradiente altitudinal.

Desafortunadamente, en la actualidad, la mayor parte del suelo del Volcán La Malinche está dedicado a labores agrícolas de temporal (Ern 1972, SARH 1993). Asimismo, existen pastizales inducidos por el hombre, cuyo uso primordial es para la ganadería en las cercanías de los asentamientos humanos; las especies más representativas son *Bouteloa gracilis*, *Muhlenbergia porterie* e *Hilaria cenchroides*. A continuación se detallan las características de la vegetación nativa y los cultivos de temporal como se consideran en este estudio.

Vegetación nativa.- se trata principalmente de bosques de coníferas y encinos. En las partes más altas el oyamel, *Abies religiosa*, forma masas puras y cerradas sobre suelos profundos y húmedos en los bosques de oyamel. Dependiendo de la altitud y la exposición, dentro de este bosque se pueden encontrar pinos de distintas especies como *Pinus hartwegii* y *P. montezumae*, cedro blanco (*Cupressus lindleyi*), aile (*Alnus* sp.) y sabino (*Juniperus deppeana*). Conforme

disminuye la altitud, comienzan a predominar los pinos, siendo *Pinus montezumae*, *P. rudis*, *P. teocote*, *P. leiophylla* y *P. hartwegii* las especies más comunes.

Con la mayor disminución de la altitud, se intercalan encinos en el bosque de pino hasta formar la comunidad de pino encino que se distribuye entre 2,600 - 2,850 m. En las partes bajas suelen dominar los encinos y en las altas los pinos; en la parte media se encuentran mezcladas, en proporciones variables. Las especies representativas son *Pinus leiophylla*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. patula* y *P. ayacahuite*; las latifoliadas más frecuentes son los encinos (*Quercus* sp.) de dos tipos, uno perennifolio y otro caducifolio; asimismo, las especies de encinos más comunes del estrato arbóreo y arbustivo son: *Quercus crassipes*, *Q. rugosa*, *Q. aristata*, *Q. deserticola*, *Q. castanea*, *Q. laurina*, *Q. mexicana*, *Q. laeta*, *Q. splendens*, *Q. greggii*, *Q. frutex* y *Q. crassifolia*. El estrato herbáceo se compone por pastos altos de los géneros *Muhlenbergia* y *Aristida* los cuales forman praderas de alta montaña. A la vegetación de altura compuesta por bosque de coníferas y pastos altos se le conoce como vegetación alpina.

Cultivos de temporal (con cultivos anuales).- Incluyen los de riego y forrajes que se hacen en la zona (SPP 1981) a diversas alturas, pero principalmente en zonas bajas e intermedias. Los cultivos comprenden verduras, legumbres, granos, cereales y frutales. Estos cultivos se hacen para consumo local o regional, los de riego incluyen maíz, haba, cebada, trigo, avena, alberjón, los que son de lluvias (temporada) son rábano, zanahoria, lechuga, cilantro, acelga, alcachofa, alfalfa, brócoli, calabacita, camote, ciruelo, cítricos, coliflor, chabacano, chayote, chile, chirimoya, durazno, espinaca, frijol, higuera, maguey, manzano, nogal, nopal, papa, peral y trigo. La deforestación inmoderada para labores agrícolas, aunada a las pendientes que se encuentran en La Malinche, ha ocasionado la erosión de suelos que actualmente representa un problema agudo en toda la entidad y particularmente en esta región.

4. JUSTIFICACIÓN

Un tipo de relaciones especialmente interesantes, pueden ser aquellas que se establecen entre una variable espacial (latitud, longitud y altitud) y una variable ambiental (suelos, clima y vegetación), en cuyo caso, este tipo de relación tiene valor predictivo, ya que es probable que la variable ambiental tenga un efecto significativo en determinadas porciones de la distribución de las especies (Lobo 2000). Una prueba de esto es que existen diferentes ambientes y diferentes tipos de organismos adaptados a ellos. Por ejemplo, en un gradiente altitudinal, el mosaico de las condiciones van cambiando y, como consecuencia, las especies también van variando (Sánchez-

Cordero 2001). Las características del Volcán La Malinche, representan la oportunidad de conocer si las especies de roedores que ocurren ahí, presentan algún patrón de distribución y si ese patrón obedece al efecto de alguna variable ambiental.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar en el Volcán La Malinche, la probable relación entre la distribución de roedores silvestres con algunos aspectos espaciales y ambientales.

5.2. OBJETIVOS PARTICULARES

1. Examinar si la distribución de 14 especies de roedores silvestres en el Volcán La Malinche está asociada con algunas variables ambientales continuas (altitud, temperatura, precipitación) y/o discretas (tipos de vegetación, clima, suelo).
2. Analizar si existen patrones de distribución, individuales o comunes, en esas especies.
3. Determinar tendencias de distribución en esas especies de roedores en esa entidad geomorfológica.

6. HIPÓTESIS

Si existen patrones reconocibles en la riqueza y distribución de los roedores en el Volcán La Malinche, es de esperar que éstos:

1. muestren algún tipo de variación altitudinal, de acuerdo a la especie de que se trate.
2. correspondan de manera preferencial con los tipos de vegetación y con algunos factores del clima (temperatura, precipitación, suelo).

Como corolario de la hipótesis, si se pueden establecer patrones reconocibles en la distribución de las especies silvestres de roedores capturadas en el Volcán La Malinche, es de esperar que éstos: (a) muestren algún tipo de variación clinal (gradiente) en relación con la altitud y la temperatura, así como con la precipitación, pero en menor grado; (b) correspondan de manera preferencial con ciertos tipos de vegetación, suelo y clima, a lo largo del Volcán La Malinche, de acuerdo a la especie de que se trate.

7. MATERIAL Y MÉTODOS

Se examinaron 832 ejemplares del Orden Rodentia provenientes de 26 localidades en el Volcán La Malinche, los cuales fueron identificados y catalogados como pertenecientes a catorce especies y cuatro familias (Tabla 1). Todos los ejemplares se encuentran catalogados y alojados en la colección mastozoológica UAMI, de tal manera que es posible obtener información de cada uno de ellos a partir de las etiquetas, los catálogos cronológico y de preparación, así como del diario de campo. Además, se tiene capturada la información del Catálogo Cronológico en una base de datos electrónica (Access), la cual cuenta con las coordenadas geográficas de las localidades específicas de procedencia. Esto permitió ubicar esa información geográfica en los mapas que se elaboraron, considerando un gradiente altitudinal en la distribución de las especies, así como en los análisis estadísticos.

7.1. Selección y Medición de Variables Ambientales

Numerosos estudios han tratado de poner de manifiesto la relación existente entre el número de especies de un grupo determinado y distintos parámetros ambientales (Gaston 1996, Hernández 2001, Iloldi Rangel *et al* 2002). Estos trabajos demuestran que el número de variables ambientales que se pueden utilizar para buscar una función predictiva es muy grande, siendo difícil decidir cuales son las más convenientes en cada caso concreto. Como criterio preliminar, parece conveniente seleccionar entre otras, aquellas variables relacionadas con pluviosidad y temperatura del área, pero la amplitud altitudinal o alguna medida de la heterogeneidad ambiental también suelen dar buenos resultados (Wohlgemuth 1998).

Tabla 1.- Riqueza en especies de roedores provenientes del Volcán La Malinche, de acuerdo a ejemplares depositados en la colección mastozoológica UAMI. La clave de las especies se usa en otras tablas y figuras. Se indica el número de ejemplares (N). En el arreglo taxonómico se sigue a Ramírez-Pulido *et al.* (2005) y en los nombres comunes con modificaciones de Hall (1981).

Taxon	Nombre común	Clave N
Sciuridae	Ardillas	1
Sciurinae		
<i>Spermophilus mexicanus mexicanus</i>	Ardilla terrestre mexicana	Smm 1
Muridae	Ratas y ratones de Campo	728
Sigmodontinae		
<i>Neotoma mexicana torquata</i>	Rata mexicana	Nmt 1
<i>Peromyscus difficilis amplus</i>	Ratón de las rocas	Pda 36
<i>Peromyscus levipes levipes</i>	Ratón de pies ligeros	Pll 10
<i>Peromyscus maniculatus fulvus</i>	Ratón de manos blancas	Pmf 111
<i>Peromyscus melanotis</i>	Ratón de orejas oscuras	Pm 418
<i>Reithrodontomys chrysopsis chrysopsis</i>	Ratón dorado de las cosechas endémico de los volcanes	Rcc 2
<i>Reithrodontomys megalotis saturatus</i>	Ratón de las cosechas	Rms 31
<i>Reithrodontomys sumichrasti sumichrasti</i>	Ratón dorado de las cosechas de Sumichrast	Rss 1
<i>Neotomodon alstoni</i>	Ratón endémico de los Volcanes	Na 64
Arvicolinae		
<i>Microtus mexicanus mexicanus</i>	Metorito mexicano	Mmm 54
Geomyidae	Tuzas, ratas y ratones hipogeos	103
Geomyinae	Tuzas	
<i>Cratogeomys merriami merriami</i>	Tuza grande	Cmm 2
<i>Thomomys umbrinus umbrinus</i>	Tuza pequeña	Tuu 86
Herteromyinae	Ratones y ratas hispídos o canguro	
<i>Liomys irroratus alleni</i>	Ratón espinoso con abazones	Lia 15
TOTAL		832

Las variables ambientales que se incluyen para este análisis (Tabla 2) son la altitud, la temperatura (T°) y la precipitación (P), así como tipos de vegetación (n = 4), de clima y de suelo. Al respecto, cabe mencionar que en las fuentes disponibles se encontró mayor número de opciones para esas tres últimas variables (Tabla 2), pero únicamente se usaron aquellas condiciones en que se encontraban las localidades específicas de recolecta, por representatividad y facilidad, las áreas de cultivo y los asentamientos humanos se tomaron en cuenta como tipos de vegetación diferente, obviamente sin pertenecer a esa categoría. En el caso de la altitud, se

consideraron los datos de las etiquetas de los ejemplares, mientras que para las otras variables se usaron coberturas digitales como se indica adelante.

Tabla 2.- Variables ambientales presentes en el Volcán La Malinche, Tlaxcala. El asterisco (*) señala aquellas opciones de suelo, clima o vegetación presentes en el área de estudio, pero que no fueron incorporadas a los análisis, ya que no corresponden con las localidades específicas de recolecta de roedores silvestres. Para la nomenclatura en las claves, véase el texto.

TIPO	VARIABLE	NOMBRE Y OBSERVACIONES	CLAVE
Abióticas			
Espaciales	Latitud	100 Cuadrantes. Se tomaron de la etiqueta del ejemplar.	0'' N*
	Longitud		0'' W*
Topográficas	Altitud (continua)	Se tomó de la etiqueta del ejemplar (metros).	Alt
Edáficas	Tipo de Suelo (discreta)	Cambisol Eútrico	Be
		Fluvisol Eútrico	Je
		Luvisol Órtico	Lo
		Regosol Eútrico	Re
		Feozem Háptico*	Hh*
	Temperatura (continua)	Promedio	T°
	Precipitación (continua)	Promedio	P
Climáticas	Tipo de clima (discreta)	Templado subhúmedo intermedio, lluvias en verano	C(w1)
		Templado subhúmedo más húmedo, lluvias en verano Semifrío con veranolarlo lluvioso y fresco frío a semifrío con lluvias en el verano	C(w2) Cb'(w2) E(T)CHw
Bióticas			
Vegetación	Tipos de Vegetación (discreta)	Agricultura de Temporal con cultivos anuales	AT/ca
		Asentamiento Humano	AH
		Bosque de Pino	BP
		Pradera de alta montaña	PAM
		Agricultura de Temporal con cultivos permanentes y semipermanentes*	AT/cp*
		Bosque de Encino con vegetación secundaria arbustiva y herbácea*	BE/vs*
		Bosque de Oyamel (incluye ayarín y cedro)*	BO*
Bosque de Pino con vegetación secundaria arbustiva y herbácea*	BP/vs*		
Bosque de Pino-Encino (incluye encino-pino)*	BP-E*		
Bosque de Pino-Encino (incluye encino-pino) con vegetación secundaria*	BP-E/vs*		
Pastizal inducido*	PZAL*		

Por su naturaleza, las seis variables ambientales analizadas aquí (Tabla 2), se clasificaron en abióticas (todas, excepto la vegetación) y bióticas (vegetación), mientras que por su comportamiento se consideraron continuas por su variación clinal a lo largo de un gradiente (altitud, temperatura y precipitación) o discretas cuando se presentan en manchones reconocibles en el área de estudio (tipos de vegetación, suelo y clima).

7.2. Desarrollo de Mapas Digitales a través de SIG

Para reunir información ambiental de calidad suele ser necesario un esfuerzo considerable debido generalmente a la falta de fuentes, o bien, a que éstas se encuentren dispersas. Los mapas

temáticos constituyen una posibilidad adecuada, siempre y cuando la escala espacial de análisis no requiera ser muy detallada y los datos de la variable cartografiada no sean obsoletos. Para superponer la cartografía ambiental y la topográfica, de modo que pueda calcularse el valor promedio de la variable en la unidad espacial que se requiere, es fundamental el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Un SIG, es un tipo especializado de base de datos que permite manejar datos geográficos en formato de imágenes o mapas de la misma porción del territorio, de modo que es posible superponer y analizar las características espaciales y temáticas de una zona concreta (Miller 1994), es decir, que del área de estudio se obtienen modelos digitales de terreno con capas integradas de información georreferenciada.

En el desarrollo de los modelos digitales, se usaron las coordenadas geográficas de las localidades específicas de recolecta, fueron transformadas a grados decimales para su uso en la elaboración de mapas en el SIG, ya que es así como trabaja el programa. Asimismo, se usaron las coberturas digitales para las variables ambientales examinadas en el área con que cuenta el Laboratorio de Recursos Naturales del Departamento de Biología, DCBS, UAMI, a cargo del Biól. Gilberto Hernández Cárdenas. Además, también se usaron las coberturas de vegetación, altitud y de clima que contiene el programa Biótica (Ver. 4.1) de la Comisión Nacional para Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

Esta información permitió elaborar mapas o modelos digitales a la misma escala para cada variable ambiental considerada y calcular el valor promedio de cada una en la unidad espacial seleccionada; en este caso, la porción del Volcán La Malinche que se encuentra situada en el Estado de Tlaxcala. El SIG que se usó para el manejo de la información fue ArcView (ESRI, Ver. 3.1) y para su uso se contó con la asesoría del Biól. Hernández Cárdenas. La superposición del modelo de distribución de cada especie en estos mapas fue utilizada para análisis cualitativos de patrones, así como para la presentación de los datos.

7.3. Análisis Estadísticos

La información georreferenciada de las localidades específicas de recolecta, así como la matriz de variables ambientales continuas y discretas fue usada para conformar una base de datos, de manera tal que permitiera obtener un patrón de referencia latitudinal y longitudinal con 100 cuadrantes (Tabla 2); posteriormente, a esta base se le incorporaron los datos de distribución

(presencia/ausencia) de cada especie en cada cuadrante, de acuerdo a las localidades específicas de recolecta.

Para explorar los patrones de distribución de las especies se usaron técnicas estadísticas multivariadas de ordenación y de agrupamiento, considerando todas las variables ambientales juntas, o bien, para las continuas y discretas por separado. Para la exploración de los datos por ordenamiento, se usaron Análisis Canónicos de Correspondencia (ACC) para examinar la relación entre las especies y las variables ambientales simultáneamente (Zavala 1996, López-González 2004) a través de producir una ordenación interpretable de los datos. En este procedimiento, las variables continuas se trataron como vectores. Para la representación de resultados, se construyeron gráficos bidimensionales con la ubicación de las especies y las variables discretas en el multiespacio; en las variables continuas, la dirección y longitud de los vectores permitieron ubicar la importancia relativa de esas variables ambientales, correlacionadas significativamente con los ejes de ordenación. Esto último fue usado como criterio para la realización de los análisis multivariados posteriores.

Para explorar de manera jerárquica las similitudes entre las distribuciones de las especies en el Volcán La Malinche, de acuerdo a las variables ambientales presentes en las localidades específicas de recolecta, se desarrollaron Análisis de Agrupamiento (AA), considerando, en parte, los resultados de los ACC (Zavala 1996, López-González 2004). En la generación de los dendrogramas, se consideraron las matrices de similitud y la opción de pares de grupos con base en el promedio aritmético sin ponderación (UPGMA). Se obtuvo el coeficiente de correlación (r) para cada dendrograma y si el valor era ≥ 0.6 , se consideró que había una buena representación de la variación de los datos (Dra. Castro, com. pers., mayo 2005). Se usaron pruebas de Mantel (Z) para comparar los resultados de los dendrogramas generados (Castro-Campillo y Ramírez-Pulido 2000) y sólo cuando la prueba demostró que había grupos de especies consistentes entre las topologías de un par de dendrogramas ($\alpha \leq 0.05$), se intentó generar un dendrograma de consenso. Desafortunadamente, salvo uno o dos casos, los grupos de especies no fueron consistentes en las topologías de un par de dendrogramas, por lo que no se pudieron generar dendrogramas de consenso y sólo se refieren los resultados en el texto.

Una vez explorada la influencia relativa de las variables ambientales sobre la distribución de las especies en los ACC y con base en las topologías generadas con todas las variables, las continuas y las discretas se desarrollaron Análisis Canónicos Discriminantes (ACD) sobre los

grupos de especies conformados en esos análisis exploratorios, los cuales fueron considerados como ensambles *a priori* de especies. Esta técnica también permitió establecer las diferencias significativas entre las especies con base en las variables ambientales, las cuales usaron como variables de clasificación. Asimismo, este análisis permitió describir la influencia relativa de las variables usadas sobre los patrones de distribución de las especies, explicando las diferencias observadas. Por último, mediante el análisis los grupos *a priori* de especies también se sometieron a prueba para comprobar si representaban una buena clasificación.

Para desarrollar todos los análisis estadísticos se usaron los paquetes comerciales MVSP (Ver. 3.11), SPSS (Ver. 10.0), NCSS (2000) y NT-SYS (Ver. 2.0).

7.4. Ejemplares Examinados

El orden de los taxa se menciona de acuerdo a como Ramírez-Pulido *et al.* (2005) citan a los Órdenes, las Familias, Subfamilias y Géneros, pero dentro de éstos, las especies y subespecies se citan en orden alfabético. Las localidades específicas de recolecta, se arreglan de N-S y de W-E. Los números entre paréntesis que siguen al nombre científico son el total de ejemplares examinados en ese taxon. En la relación de localidades específicas de recolecta, el número en negritas que las precede corresponde al número con que se identifican en el mapa de la figura 3 y el número entre paréntesis que sigue a la localidad es el número de ejemplares capturado en ella.

***Spermophilus mexicanus mexicanus* (1): 11.-** 12 Km W Mariano Matamoros, 2400 m, 19° 18' 05'' y 98° 04' 07'' (1).

***Neotoma mexicana torquata* (1): 20.-** 8 Km W, 4 Km S Pilares, 3410 m, 19° 14' 35'' y 98° 01' 23'' (1).

***Peromyscus difficilis amplus* (36): 2.-** Ejido Guadalupe, 2350 m, 19° 21' 10'' y 97° 54' 00'' (2); **25.-** 2 Km S Zitlaltepec, 2500 m, 19° 11' 10'' y 97° 54' 34'' (32); **26.-** 1 Km S Francisco Javier Mina, 2610 m, 19° 10' 52'' y 97° 55' 39'' (2).

***Peromyscus levipes levipes* (10): 5.-** 7.5 Km S, 5 Km E Apizaco, 2420 m, 19° 20' 45'' y 98° 5' 33'' (8); **12.-** 12.5 Km S, 14 Km E Apizaco, 2700 m, 19° 18' 02'' y 98° 00' 30'' (1); **14.-** Monte La Malinche 2 Km S, 11 Km W Huamantla, 2750 m, 19° 17' 34'' y 98° 01' 44'' (1).

***Paromyscus maniculatus fulvus* (111):** **1.-** 6 Km S, 14 Km E Apizaco, 2350 m, 19° 21' 37'' y 98° 00' 26'' (30); **2,** Ejido Guadalupe, 2350 m, 19° 21' 10'' y 97° 54' 00'' (3); **9.-** Monte La Malinche, 11 Km W Huamantla, 2750, 2800, 2850 m, 19° 18' 40'' y 98° 01' 44'' (19); **10.-** 2 Km N Malintzin-IMSS, 2810 m, 19° 18' 32'' y 98° 02' 08'' (11); **12.-** 12.5 Km S, 14 Km E Apizaco, 2700 m, 19° 18' 02'' y 98° 00' 30'' (2); **13.-** 2 Km S, 12.5 Km W Huamantla, 2800 m, 19° 17' 34'' y 98° 02' 36'' (6); **15.-** 2 Km S Huamantla, 2580 m, 19° 17' 34'' y 97° 55' 26'' (17); **18.-** 3 Km NW Los Pilares, 2870 m, 19° 16' 23'' y 97° 58' 24'' (7); **22.-** 2 Km N Zitlaltepec, 2570 m, 19° 13' 20'' y 97° 54' 34'' (6); **23.-** 6 Km W, 1.5 Km N Zitlaltepec, 2700 m, 19° 13' 5'' y 97° 58' 5'' (1); **25.-** 2 Km S Zitlaltepec, 2500, 2610 m, 19° 11' 10'' y 97° 54' 34'' (6); **26.-** 1 Km S Francisco Javier Mina, 2610 m, 19° 10' 52'' y 97° 55' 39'' (3).

***Peromyscus melanotis* (418):** **10.-** 2 Km N Malintzin-IMSS, 2810 m, 19° 18' 32'' y 98° 02' 08'' (5); **14.-** Monte La Malinche 2 Km S, 11 Km W Huamantla, 2750, 2800, 2850, 2900 m, 19° 17' 34'' y 98° 01' 44'' (46); **16.-** La Malinche, 3180 m, 19° 17' 26'' y 98° 02' 12'' (1); **17.-** Malintzin-IMSS, 2810 m, 19° 17' 18'' y 98° 02' 50'' (2); **18.-** 3 Km NW Los Pilares, 2870 m, 19° 16' 23'' y 97° 58' 24'' (4); **19.-** 12 Km W, 6 Km S Huamantla, 3220, 3320, 3350, 3450, 3500, 3520, 3600 m, 19° 15' 24'' y 98° 02' 17'' (305); **20.-** 8 Km W, 4 Km S Pilares, 3350, 3410, 3500 m, 19° 14' 35'' y 98° 01' 23'' (24); **21.-** 6 Km W, 2 Km S San Juan Ixtenco, 2770 m, 19° 13' 54'' y 97° 57' 10'' (6); **23.-** 6 Km W, 1.5 Km N Zitlaltepec, 2700 m, 19° 13' 5'' y 97° 58' 5'' (13); **24.-** 4.5 Km W Zitlaltepec, 2800 m, 19° 12' 16'' y 97° 57' 10'' (12).

***Reithrodontomys chrysopsis chrysopsis* (2):** **19.-** 12 Km W, 6 Km S Huamantla, 3350 m, 19° 15' 24'' y 98° 02' 17'' (1); **20.-** 8 Km W, 4 Km S Pilares, 3500 m, 19° 14' 35'' y 98° 01' 23'' (1).

***Reithrodontomys megalotis saturatus* (31):** **9.-** Monte La Malinche 11 Km W Huamantla, 2800 m, 19° 18' 40'' y 98° 01' 44'' (2); **10.-** 2 Km N Malintzin-IMSS, 2810 m, 19° 18' 32'' y 98° 2' 8'' (5); **14.-** Monte La Malinche 2 Km S, 11 Km W Huamantla, 2750, 2850, 2900 m, 19° 17' 34'' y 98° 1' 44'' (9); **18.-** 3 Km NW Los Pilares, 2870 m, 19° 16' 23'' y 97° 58' 24'' (1); **19.-** 12 Km W, 6 Km S Huamantla, 3350 m, 19° 15' 24'' y 98° 02' 17'' (1); **21.-** 6 Km W, 2 Km S San Juan Ixtenco, 2770 m, 19° 13' 54'' y 97° 57' 10'' (10); **22.-** 2 Km N Zitlaltepec, 2570 m, 19° 13' 20'' y 97° 54' 34'' (2); **26.-** 1 Km S Francisco Javier Mina, 2610 m, 19° 10' 52'' y 97° 55' 39'' (1).

***Reithrodontomys sumichrasti sumichrasti* (1): 10.-** 2 Km N Malintzin-IMSS, 2810 m, 19° 18' 32'' y 98° 02' 08'' (1).

***Neotomodon alstoni* (64): 10.-** 2 Km N Malintzin-IMSS, 2810 m, 19° 18' 32'' y 98° 02' 08'' (18); **13.-** 2 Km S, 12.5 Km W Huamantla, 2800 m, 19° 17' 34'' y 98° 02' 36'' (1); **14.-** Monte La Malinche 2 Km S, 11 Km W Huamantla, 2850 m, 19° 17' 34'' y 98° 01' 44'' (18); **18.-** 3 Km NW Los Pilares, 2870 m, 19° 16' 23'' y 97° 58' 24'' (3); **20.-** 8 Km W, 4 Km S Pilares, 3350, 3410 m, 19° 14' 35'' y 98° 01' 23'' (8); **21.-** 6 Km W, 2 Km S San Juan Ixtenco, 2770 m, 19° 13' 54'' y 97° 57' 10'' (10); **23.-** 6 Km W, 1.5 Km N Zitlaltepec, 2700 m, 19° 13' 05'' y 97° 58' 05'' (3); **24.-** 4.5 Km W Zitlaltepec, 2800 m, 19° 12' 16'' y 97° 57' 10'' (3).

***Microtus mexicanus mexicanus* (54): 9.-** Monte La Malinche 11 Km W Huamantla, 2800 m, 19° 18' 40'' y 98° 1' 44'' (1); **10.-** 2 Km N Malintzin-IMSS, 2810 m, 19° 18' 32'' y 98° 02' 08'' (12); **14.-** Monte La Malinche 2 Km S, 11 Km W Huamantla, 2900, 2750 m, 19° 17' 34'' y 98° 01' 44'' (7); **15.-** 2 Km S Huamantla, 2580 m, 19° 17' 34'' y 97° 55' 26'' (2); **19.-** 12 Km W, 6 Km S Huamantla, 3350 m, 19° 15' 24'' y 98° 02' 17'' (31); **20.-** 8 Km W, 4 Km S Pilares, 3350 m, 19° 14' 35'' y 98° 01' 23'' (1).

***Cratogeomys merriami merriami* (2): 3.-** 7 Km S, 11 Km E Apizaco, 2600 m, 19° 21' 06'' y 98° 02' 13'' (2).

***Thomomys umbrinus umbrinus* (86): 3.-** 7 Km S, 11 Km E Apizaco, 2600 m, 19° 21' 06'' y 98° 02' 13'' (3); **6.-** 8 Km S, 8 Km E Apizaco, 2600 m, 19° 20' 31'' y 98° 3' 49'' (11); **7.-** 8 Km S, 11.5 Km E Apizaco, 2600 m, 19° 20' 31'' y 98° 01' 54'' (13); **8.-** 8.5 Km S, 9.5 Km E Apizaco, 2620 m, 19° 20' 14'' y 98° 3' 14'' (8); **14.-** Monte La Malinche 2.5 Km S, 11 Km W Huamantla, 3000 m, 19° 17' 34'' y 98° 1' 44'' (51).

***Liomys irroratus alleni* (15): 4.-** Ejido Guadalupe, Mpio. Alzayanca, 2350 m, 19° 21' 10'' y 97° 54' 0'' (2); **10.-** 2 Km N Malintzin-IMSS, 2810 m, 19° 18' 32'' y 98° 02' 08'' (8); **14.-** Monte La Malinche 2 Km S, 11 Km W Huamantla, 2850 m, 19° 17' 34'' y 98° 1' 44'' (4); **15.-** 2 Km S Huamantla, 2580 m, 19° 17' 34'' y 97° 55' 26'' (1).

8. RESULTADOS

8.1. Gradiente Ambiental

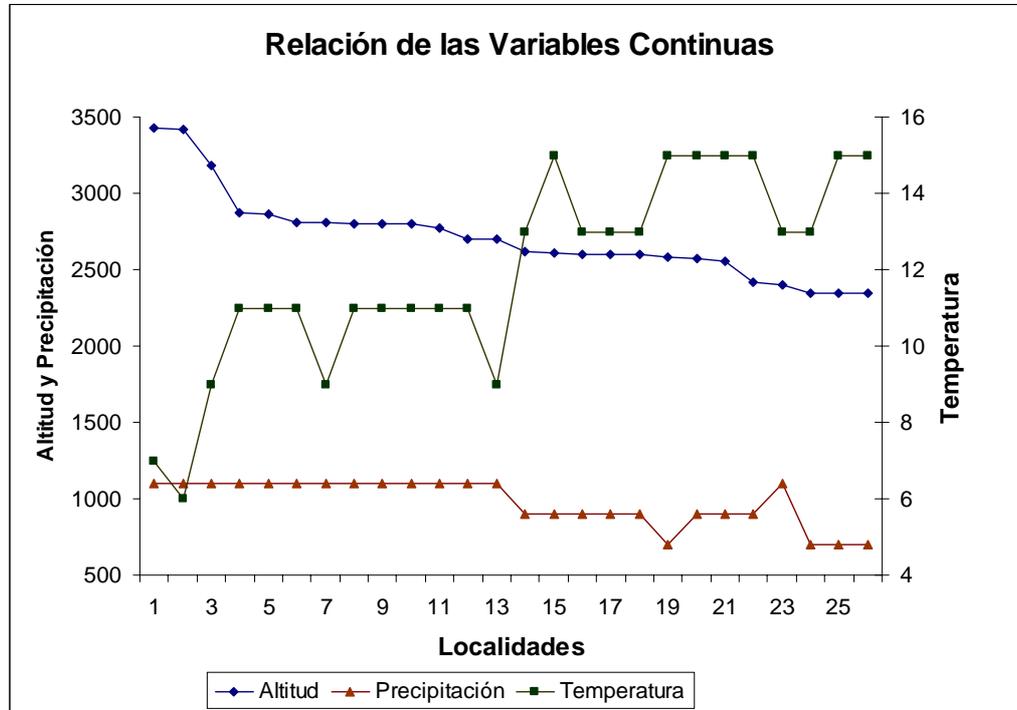


Figura 2.- Gradiente altitudinal (H), de temperatura (T°) y de precipitación (P) en las 26 localidades de recolecta de roedores silvestres en el Volcán La Malinche, Tlaxcala, México. Fuentes: H = Base electrónica de la Colección de Mamíferos de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI); T° y P = BIOTICA (Ver. 4.1).

En la figura 2 se representan los intervalos de altura, considerando las 26 localidades específicas de muestreo, así como la temperatura y la precipitación promedio. Originalmente, se hicieron muestreos a diferentes alturas en las localidades 9, 14, 19, 20 y 25 (Ver ejemplares examinados), por lo que se obtuvieron 41 registros. Sin embargo, en esas localidades se utilizó el promedio.

En la Tabla 3 se detallan los intervalos de altitud en que fueron recolectadas las 14 especies de roedores silvestres en el Volcán La Malinche. Como puede observarse, los intervalos de altitud son amplios, especialmente para el ratón de las cosechas (*R. megalotis*), el ratón metorito (*M. mexicanus*) y para las dos especies de ratones pequeños del género *Peromyscus*. Estas dos últimas especies son de las que cuentan con mayor número de ejemplares (*P. melanotis*, $n = 111$ y *P. maniculatus*, $n = 418$, Tabla 1), mientras que el metorito ($n = 54$) y el ratón de las cosechas ($n = 31$) sólo estuvieron representados por menos de 60 individuos y, aún

así, muestran un amplio intervalo. El resto de las especies está en un intervalo altitudinal restringido (Tabla 1, Fig. 3), de acuerdo con el número reducido de ejemplares, especialmente en el caso de un solo ejemplar (*Spermophilus mexicanus*, *Neotoma mexicana* y *Reithrodontomys sumichrasti*), o bien, aún cuando el número no sea tan reducido (*Peromyscus difficilis*, *P. levipes*, *R. chrysopsis*, *Neotomodon alstoni*, *Cratogeomys merrami*, *Thomomys umbrinus* y *Liomys irroratus*).

Tabla 3.- Intervalos altitudinales en que se recolectaron las 14 especies de roedores silvestres en el Volcán La Malinche, Tlaxcala, México. Las especies se arreglan de acuerdo con la cota superior del registro de altitud en que fueron capturadas.

Espece	Altitud
<i>Peromyscus melanotis</i>	2700-3600
<i>Reithrodontomys chrysopsis chrysopsis</i>	3350-3500
<i>Neotomodon alstoni</i>	2700-2900 y 3350-3410
<i>Neotoma mexicana torquata</i>	3410
<i>Microtus mexicanus mexicanus</i>	2580-2900 y 3350
<i>Reithrodontomys megalotis saturatus</i>	2570-2900 y 3350
<i>Thomomys umbrinus umbrinus</i>	2600 y 3000
<i>Reithrodontomys sumichrasti sumichrasti</i>	2810
<i>Peromyscus maniculatus fulvus</i>	2350-2870
<i>Liomys irroratus alleni</i>	2350-2850
<i>Peromyscus levipes levipes</i>	2420-2750
<i>Peromyscus difficilis amplus</i>	2350-2610
<i>Cratogeomys merriami merriami</i>	2600
<i>Spermophilus mexicanus mexicanus</i>	2400

8.2. Mapas de Distribución

La revisión de las bases de datos geográficas, permitió ubicar la distribución de los 832 especímenes, correspondientes a las 14 especies de roedores (Fig. 3), en mapas temáticos, de acuerdo a las seis variables ambientales que se consideraron, en las 26 localidades de muestreo que se localizan en los mapas, asimismo, sólo se observa el área del Volcán La Malinche correspondiente al Estado de Tlaxcala. La altitud se representa en los mapas topográficos de las figuras 3A y B con cotas de nivel de 200 m de separación entre ellas; en el primer caso se muestra la ubicación relativa del Volcán La Malinche en el Estado de Tlaxcala y en el segundo caso, es un acercamiento del propio volcán. Las demás variables se representan a la misma escala y los mapas temáticos de la figura 4 son temperatura (A), precipitación (B), de la figura 5 se muestran el tipo de suelo (A), tipo de clima (B) y tipos de vegetación (C).

Con base en la información de las localidades de recolecta, obtenida a partir de los mapas temáticos (Fig. 3, 4 y 5) por variables ambientales, así como de la base de datos de la UAMI para las especies, se generaron las gráficas de la figura 4, en la cual se resumen las características del hábitat en que fueron capturadas las 14 especies de roedores silvestres en el Volcán La Malinche, Tlaxcala.

En el caso de la altitud (Fig. 6 A) se muestran los datos sin modificar, mientras que en la temperatura (Fig. 6 B) y la precipitación (Fig. 6 C), se usaron los promedios de los intervalos que maneja el programa Biótica (-2-5 ° C, 6-8 ° C, 8-10 ° C, 10-12 ° C, 12-14 ° C, 14-16 ° C y de 600-800 mm; 800-1000 mm; 1000-1200 mm respectivamente). En la gráfica del gradiente altitudinal (Fig. 6 A), se observa que el suelo tipo Regosol (Re) tiene una distribución más amplia que los otros (2350-3560 m), los cuales sólo alcanzan la cota superior hasta los 2770 m, siendo el Luvisol (Lo) el suelo más restringido (2610 m). En cuanto a la vegetación, es el bosque de pino (BP), el que tiene la mayor dispersión (2700-3560 m), seguido de los cultivos (AT/ca, 2350-2840 m), mientras que los asentamientos humanos (AH) sólo se presentan a los 2580 m. En los climas, los tipos C(w₁) y C(w₂) muestran superposición considerable en las alturas más bajas (2350-2375 m), mientras que el clima Cb'(w₂) es el que tiene la mayor dispersión (2755-3560 m) y se superpone con el ETCHw en las partes altas. En cuanto a los roedores (Tabla 3), la especie que muestra mayor dispersión es *Peromyscus melanotis* (Pm), seguida por *Reithrodontomys megalotis* (Rms), *Microtus mexicanus* (Mmm) y *Neotomodon alstoni* (Na); sin embargo, ninguna de las tres últimas fue capturada por arriba de los 3600 m. Después de este grupo, siguen *Liomys irroratus* (Lia), *P. maniculatus* (Pmf) y *Thomomys umbrinus* (Tuu) en cuanto a su dispersión a lo largo del gradiente altitudinal, los cuales son seguidos por *P. levipes* (Pl), *P. difficilis* (Pda) y *R. chrysopsis* (Rcc). *Neotoma mexicana* (Nmt), *R. sumichrasti* (Rss), *Cratogeomys merriami* (Cmm) y *Spermophilus mexicanus* (Smm), sólo fueron encontradas en un solo sitio.

El gráfico del gradiente de temperatura (Fig. 6 B) se hizo considerando del menor al mayor valor, por lo que muchos de sus elementos tienen un comportamiento semejante al de la altitud. Así, por ejemplo, el Re se sigue presentando con la mayor dispersión a lo largo del gradiente de temperatura y tanto el fluvisol (Je) como el cambisol (Be) presentan un patrón de distribución en este gráfico, congruente con el gráfico de las alturas en zonas más bajas y más cálidas; pero, es en el Lo donde se aprecia más claramente la relación entre su ubicación altitudinal y una mayor temperatura. Cabe remarcar que la pradera de alta montaña (PAM) coincide con el clima ETCHw en la menor temperatura (ca. 3 °C) y que el BP muestra

claramente un intervalo de los 7-11 °C, aún cuando tenga mayor dispersión altitudinal. En este caso, el tipo de vegetación con un intervalo más amplio de temperatura son los AT/ca (7-15 °C), mientras que los AH son los más restringidos en este sentido (15 °C). En el caso de los climas, se observan tres bloques de temperatura segregados entre sí, que corresponden de menor a mayor valor, al de ETCHw, Cb'(w₂) y al que forman la superposición de C(w₁) y C(w₂). Aquí, la especie que muestra mayor amplitud en el intervalo de temperatura es, sin duda, el metorito (*Mmm*) que abarca prácticamente todas las posibilidades del gráfico, seguido por el ratón de orejas oscuras (*Pm*), el ratón endémico de los volcanes (*Na*), ambos desde las temperaturas más frías a las templadas (3-11 °C) y por el ratón de las cosechas (*Rms*), desde temperaturas intermedias a las más altas en este gradiente templado (7-15 °C). Luego, las especies que siguen en cuanto a su dispersión son *Rcc* en las partes altas y frías (3-7 °C) y *Lia* junto con *Pll* en las partes más bajas y de mayor temperatura (11-15 °C). Del resto, sólo *Tuu* tiene algún gradiente (11-13 °C), ya que el resto, sólo se encontraron a cierta temperatura: *Nmt* a 3 °C, *Rss* a 11 °C, *Cmm* y *Smm* a 13 °C y *Pda* a 15 °C, respectivamente.

Por último, en la gráfica de la precipitación, se observa la superposición de los suelos Re y Je en cuanto al régimen pluvial en un intervalo más amplio (700-1100 mm), mientras que Be les sigue (700-900 mm) y Lo sólo coincide con 900 mm de precipitación. Los AT/ca muestran mayor amplitud de opciones en la precipitación (700-1100 mm), seguidos por los AH (700-900 mm), pero los dos tipos de vegetación naturales (PAM y BP), muestran segregación a 1100 mm. En este nivel de lluvia también se segregan los climas ETCHw y Cb'(w₂), mientras que el clima C(w₁) lo hace a 700 mm y el C(w₂) tiene el intervalo más amplio (700-1100 mm). Las especies que se presentan de manera exclusiva en las zonas más lluviosas son *Pm*, *Rcc*, *Nmt*, *Na*, *Rss* y *Smm*. También *Cmm* se segrega a un solo régimen pluvial, pero de menor intensidad (900 mm). En cambio, *Mmm*, *Pmf* y *Lia*, se presentan en todos los intervalos considerados (700-1100 mm), mientras que *Rms*, *Tuu* y *Pll* lo hacen de los 900-1100 mm.

8.3. Análisis Canónicos de Correspondencia (ACC)

En la exploración de la ubicación relativa de los roedores alrededor de las variables ambientales, mediante los ACC (Tablas 4 y 5, Fig. 7), se observó que la presencia de la ardilla terrestre, *Spermophilus mexicanus mexicanus* (*Smm*), ocasionaba la aglomeración de todas las especies, especialmente en el ACC con todas las variables ambientales, haciendo muy difícil reconocer su posición relativa. Además, se observó que *Neotoma mexicana torquata* (*Nmt*),

Reithrodontomys crhysoptis crhysoptis (Rcc), *Neotomodon alstoni* (Na) y *Peromyscus melanotis* (Pm), las cuales son especies habitantes de la vegetación alpina (bosque de pino, BP; pradera de alta montaña, PAM), siempre formaron dos grupos reconocibles y se separaron de las demás en todos los análisis. Sin embargo, las asociaciones de los otros diez roedores (*Cmm*, *Lia*, *Mmm*, *Pda*, *Pll*, *Pmf*, *Rms*, *Smm* y *Tuu*) no fueron tan claras, debido al efecto de polarización que ocasionaban, la ardilla y las especies alpinas en ambos extremos. Entonces se corrieron ACC con o sin la ardilla y sin las especies alpinas para explorar si se podían obtener grupos más definidos entre las especies que no eran exclusivas de esa vegetación.

Tabla 4.- Relación entre la distribución de 14 especies de roedores y seis variables ambientales en el Volcán La Malinche, Tlaxcala, México. Los datos se basan en 18 sitios, mientras que las variables y los taxa se describen en los métodos. *c/Smm*, incluye a *S. m. mexicanus*, *s/Smm*, la excluye. n = número de variables.

Resultados	Funciones				Funciones			
	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4
Tipo de ACC	<u>1. Con las variables continuas (n = 3)</u> (Altitud, Precipitación y Temperatura)				<u>2. Con las variables discretas (n = 3)</u> (Tipos de Vegetación, Suelo y Clima)			
Eigenvalores	0.522	0.249			0.632	0.452	0.333	
Porcentaje	12.013	5.721			14.551	10.408	7.673	
Porcentaje acumulado	12.013	17.733			14.551	24.960	32.632	
Correlaciones especie-ambiente	0.953	0.766			0.942	0.818	0.843	
Tipo de ACC	<u>3. Con todas las variables (n = 6)</u> <u>s/Smm</u>				<u>4. Con todas las variables (n = 6)</u> <u>c/Smm</u>			
Eigenvalores	0.735	0.564	0.358	0.299	0.901	0.589	0.488	0.357
Porcentaje	21.975	16.850	10.703	8.929	20.744	13.548	11.233	8.219
Porcentaje acumulado	21.975	38.825	49.528	58.457	20.744	34.292	45.526	53.745
Correlaciones especie-ambiente	0.954	0.991	0.842	0.991	0.971	0.951	0.819	0.741
Tipo de ACC	<u>5. Con todas las variables (n = 6)</u> <u>s/especies alpinas y s/ Smm</u>				<u>6. Con todas las variables (n = 6)</u> <u>s/especies alpinas y c/ Smm</u>			
Eigenvalores	0.827	0.516	0.439		0.933	0.663	0.447	0.428
Porcentaje	28.905	18.055	15.344		24.167	17.182	11.592	11.096
Porcentaje acumulado	28.905	46.96	62.304		24.167	41.348	52.940	64.037
Correlaciones especie-ambiente	0.998	0.970	0.977	0.998	0.989	0.918	0.897	0.923

La Tabla 4 muestra los valores de los Ejes construidos de acuerdo a cada ACC. Los ACC que explican el mayor porcentaje de variación son los que excluyen a las especies alpinas, pero incluyen a *S. m. mexicanus* (*c/Smm*, 64%; ACC 6) o no (*c/Smm*, 62.3%; ACC 5), así como el análisis que excluye a la ardilla, pero incluye a todas las demás especies (58.4%, ACC 3). Los análisis con todos los taxa y las variables ambientales por separado, son los que explican la menor variación, siendo el ACC 1, con las variables continuas, el de menor porcentaje (*ca.*

18%), seguido por el ACC 2, de las variables discretas (32.6%). En general, las correlaciones de los ejes son más bien altas con un promedio de $r = 0.91 \pm 0.2$. La correlación más baja es la del Eje 2 ($r = 0.77$) en el ACC 1, mientras que las más altas se encuentran en los Ejes 2 y 4 del ACC 3 ($r = 0.99$).

De acuerdo con su valor absoluto, los coeficientes canónicos de las variables ambientales en los ACC, permiten analizar la importancia de cada grupo de variables al sumar esos valores, además de que se puede observar el peso que cada una de las variables continuas, así como los tipos de vegetación, clima y suelo, tienen sobre cada uno de los Ejes construidos, de acuerdo al análisis (Tabla 5). Con la excepción de los Ejes 1 y 3 del ACC 5, en que se excluye a las especies alpinas (*Nmt*, *Rcc*, *Na* y *Pm*) y a la ardilla terrestre (*Smm*), en todos los ejes de los demás análisis predominó la suma de valores de las variables continuas sobre las otras sumas. En el caso del ACC 5, predominaron las sumas del clima en el Eje 1 y de la vegetación en el Eje 3, respectivamente.

Entre las variables continuas, las dos que muestran mayor importancia por el número de veces que presentan el coeficiente canónico con mayor valor absoluto, entre los 17 ejes de los ACC que las incluyen, están la temperatura y la altitud; la precipitación sólo predomina en el Eje 2 del ACC que sólo incluye a las variables continuas. El segundo lugar de importancia en los ejes lo ocupan la altitud y la precipitación con una frecuencia dos veces mayor que la temperatura, mientras que en el tercer lugar predomina la precipitación, ya que la altitud y la temperatura ocupan este lugar la mitad de las veces.

Las variables discretas (tipos de vegetación, suelo y clima) forman parte de 18 ejes en los ACC que las incluyen. En los tipos de vegetación, las dos condiciones alteradas (AT/ca y AH), predominan ligeramente sobre la vegetación alpina (BP y PAM) en 10 contra ocho ejes, respectivamente. Este comportamiento se debe la influencia de AT/ca en combinación con AH, así como de PAM en la vegetación alpina; además, PAM tiene un peso mayor en más ACC que AT/ca o AH. A estos tipos de vegetación le siguen AH y BP, ocupando el segundo lugar en importancia en la mayoría de los ejes. AH y PAM ocupan mayor número de veces el tercer lugar en los ejes, seguidos de BP. Finalmente, en el cuarto lugar predominan AT/ca y BP.

Por su mayor predominio, el regosol (Re) destaca entre los tipos de suelo, siendo seguido por el cambisol (Be) en el primer lugar en tres de los ejes. Estos suelos también ocupan el segundo lugar importante en la mayoría de los ejes junto con el luvisol (Lo). Este último tipo de

suelo, junto con el fluvisol (Je), son los que más frecuentemente ocupan el tercer lugar en los ejes, mientras que en el cuarto lugar prevalecen Je y Be. El clima de tipo Cb'(w₂) siempre presentó alta colinearidad y tuvo valor de cero en todos los análisis, mientras que el clima ETCHw se comportó igual, excepto en dos de los cinco ACC en que se incluyeron. Por eso, los climas que predominan en los 18 ejes construidos son C(w₁) y C(w₂). El clima que ocupó el primer lugar en los ejes por su valor absoluto, fue el C(w₁), seguido por el C(w₂) y el ETCHw. El primer tipo de clima también se presentó cinco y cuatro veces en el segundo y tercer lugar, respectivamente. Por su parte, el clima tipo C(w₂) predominó en el segundo lugar, mientras que las veces en que se presentó, el clima tipo ETCHw predominó en el tercer lugar, aunque ocupó una vez el segundo lugar.

En la figura 7, siguiendo el sentido de las manecillas del reloj, se numeran del I-IV los cuadrantes que forman los Ejes 1 y 2, empezando por el cuarto en el que ambos ejes muestran valores positivos. Al considerar el gráfico del ACC 1 (Fig. 7A), se observa que el vector de la temperatura se ubica sobre el Eje 2, mostrando un gradiente hacia la disminución, a medida que aumenta la altitud. Ésta última variable tiene dirección contraria hacia la mitad positiva del mismo eje, aunque no está completamente superpuesta al él. Por su parte, la dirección del vector para la precipitación corre, casi a la mitad entre las dos variables mencionadas en el cuadrante II, de suerte que la precipitación aumenta con la altitud. En este ACC, los ensambles de especies que se forman, reflejan la influencia general y aislada de la altitud, la precipitación y la temperatura sobre su distribución.

Por cuanto a la distribución de las especies en el ACC 1 con las variables continuas (Fig. 7A), *Peromyscus maniculatus fulvus* (Pmf), *Cratogeomys merriami merriami* (Cmm), *Liomys irroratus alleni* (Lia) y *Thomomys umbrinus umbrinus* (Tuu) se agrupan en el cuadrante IV del gráfico, sobre los valores más bajos de la altitud. *Peromyscus difficilis amplus* (Pda) y *Peromyscus levipes levipes* (Pll) se encuentran alrededor de este grupo; la primera especie a menor altitud en cuadrante IV y la segunda a la misma altura que el primer grupo en el III. Ganando altura, en la porción negativa del Eje 1, se ubican *Reithrodontomys megalotis saturatus* (Rms) en el III cuadrante y *Reithrodontomys sumichrasti sumichrasti* (Rss) sobre el propio eje. *S. m. mexicanus* (Smm) se encuentra también en el cuadrante III a mayor distancia de estos taxa, pero a una altura similar a la del primer grupo descrito. En el cuadrante I, se asocian *N. m. torquata* (Nmt) con *R. c. crhysopsis* (Rcc), a la mayor altura, mientras que *Microtus mexicanus mexicanus* (Mmm) lo hace con el grupo que conforman *Peromyscus melanotis* (Pm) y *N. alstoni*

(*Na*) en el cuadrante, II, a una altura intermedia entre las otras dos especies de *Reithrodontomys* y el último par de especies.

La figura 7B muestra la distribución de las 14 especies de roedores alrededor de los tipos de vegetación, suelo y clima (ACC 2); de estas variables ambientales discretas, el clima y la vegetación tienen un arreglo más claro a lo largo del Eje 2, mientras que los tipos de suelo, tienden a seguir al Eje 1. Entre los cuadrantes I y II se encuentran las dos tuzas (*Tuu* y *Cmm*) y la ardilla terrestre (*Smm*) asociadas con el clima $C(w_2)$, el cual se está sobre la mitad positiva del Eje 2. La tuza grande (*Cmm*), se ubica muy cercana al suelo de tipo cambisol (Be) en el primer cuadrante.

De derecha a izquierda, entre ese clima y el $C(w_1)$, se encuentran las dos especies grandes de ratones del género *Peromyscus* (*Pll* y *Pda*) en sendos cuadrantes, respectivamente, mientras que en el cuadrante II está otra especie pequeña del género (*Pmf*) más asociada con el clima $C(w_1)$ y entre los suelos de tipo luvisol (Lo) y fluvisol (Je). Entre ese clima y el de tipo $Cb'(w_2)$, sobre la porción negativa del Eje 1, se ubica el ratón espinoso con abazones (*Lia*), hacia los asentamientos humanos (AH). En ese mismo tramo del Eje 2, entre AH y hacia el bosque de pino (BP) en el cuadrante III, se encuentra una de las tres especies de ratones silvestres del género *Reithrodontomys* (*Rms*), asociada al suelo de tipo regosol (Re). Otra de las especies de ese género (*Rss*), también en el cuadrante III, se asocia al clima $Cb'(w_2)$ y al Bosque de pino (BP) junto con el conglomerado que conforman el ratón metorito (*Mmm*), otra especie de *Peromyscus* pequeña (*Pm*) y el ratón endémico de los volcanes (*Na*) en el cuadrante IV. En ese mismo cuadrante y en el extremo izquierdo, se sitúan el ratón dorado de las cosechas endémico de los volcanes (*Rcc*) y la rata mexicana (*Nmt*), los cuales se integran con la pradera de alta montaña (PAM) y el clima de tipo ETCHw.

La ubicación de las especies en el ACC 3 con todas las variables y sin *S. m. mexicanus* (Fig. 7C), muestra que el gradiente de la variación está especialmente alrededor del Eje 1. De nuevo, las variables continuas están representadas por los vectores y tanto la altitud como la temperatura tienen mayor influencia en la distribución de los taxa, siendo opuestas en su dirección. La precipitación corre en el mismo sentido que la altitud, por lo que la relación entre las tres variables se sigue manteniendo como en la figura 7A. El arreglo de los tipos de vegetación, suelo y, en menor medida, de clima, sigue el mismo patrón que en la figura 7B, pero de arriba hacia abajo sobre el Eje 1.

En este ACC 3, el cuadrante I muestra la presencia de tierras agrícolas (AT/ca) con valores positivos en los Ejes 1 y 2. En cuanto a suelos, se presenta el de tipo Be y con referencia al clima, se tiene el C(w₂). Con respecto a las variables continuas, el vector de la temperatura aumenta en dirección hacia la mitad positiva del Eje 1 en el cuadrante I, mientras que en sentido contrario, la precipitación en el cuadrante II y la altitud en el cuadrante III, disminuyen. En el cuadrante I se ubican una de las dos especies de geómidos (*Tuu*) y un múrido (*Pll*), los cuales se muestran separados entre sí. Cabe mencionar que aunque la tuza grande (*Cmm*) está situada sobre el lado positivo del Eje 2 y en el cuadrante II, se le puede considerar en asociación con el mismo tipo de suelo, vegetación y clima mencionados en el cuadrante I, ya que en el cuadrante II no existen otras variables ambientales.

En el cuadrante III, se presentan los dos tipos de vegetación alpina, BP y PAM; al primero se asocia el clima de tipo Cb'(w₂) y al segundo el clima ETCHw. En este cuadrante está el centroide de los suelos de tipo Re y, como se mencionó antes, los mayores valores de la altitud y la precipitación. A este cuadrante se asocian el ratón dorado de las cosechas endémico de los volcanes (*Rcc*) con la rata (*Nmt*) en PAM, mientras que el ratón endémico de los volcanes (*Na*), el de orejas oscuras (*Pm*), el metorito (*Mmm*) y el ratón dorado de las cosechas de Sumichrast (*Rss*), forman otro grupo cercano en el BP; aunque, las últimas especies se acercan más al cuarto cuadrante. Por último, en ese cuadrante, se encuentran los asentamientos humanos (AH) y alejándose del origen, están suelos de tipo Je y Lo, respectivamente, mientras que el clima entre estos suelos es el C(w₁). En este cuadrante se presentan relativamente asociadas al primer tipo de suelo mencionado, el ratón de las cosechas (*Rms*), el ratón espinoso con abazones (*Lia*) y el ratón de manos blancas (*Pmf*), mientras que el ratón de las rocas (*Pda*) se aleja de estas especies y se podría relacionar junto con la última especie al suelo de tipo Lo.

Como se aprecia, la mayoría de las especies se encuentran entre los cuadrantes III y IV. Ahora bien, alrededor del BP se asocian de manera más clara *Mmm*, *Na*, *Pm* y *Rss*; mientras que en PAM se asocian *Nmt* y *Rcc*. Las especies que se localizan más cercanas a los AH y al suelo de tipo Je son *Rms*, *Pmf* y *Lia*, en ese orden, de acuerdo con su cercanía relativa. Por su parte, *Pda*, aunque se relaciona con estas especies en el mismo cuadrante, se mantiene algo separado de ellas y se asocia con el suelo Lo.

Tabla 5.- Importancia de seis variables ambientales sobre la distribución de 14 especies de roedores en el Volcán La Malinche, Tlaxcala, México. Se muestran los coeficientes canónicos en los Ejes formados, de acuerdo al los ACC desarrollados: Todos los taxa con las variables ambientales **Continuas** (altitud, temperatura y precipitación); Todos los taxa con las variables ambientales **Discretas** (tipos de vegetación, suelo y clima); **Todas** las variables con (c/Smm) o sin (s/Smm) la ardilla terrestre *S. m. mexicanus*; **Todas** las variables con o sin las especies que habitan la vegetación alpina (c/alpinas, s/alpinas: *N. m. torquata*, *R. c. crhysoptis*, *N. alstoni* y *P. melanotis*), incluyendo o no a la ardilla terrestre. Los nombres de las variables aparecen en los métodos. Las negritas señalan la suma de cada grupo de variables y las variables con valor de cero, presentaron alta colinearidad.

Variables	ACC1		ACC 2			ACC 3				ACC 4				ACC 5			ACC 6			
	Eje 1	Eje2	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4
Σ Continuas	1.04	2.28				11.636	7.967	10.357	4.557	11.586	7.903	6.192	9.89	7.962	13.961	4.318	8.562	10.684	6.682	1.418
Altitud	0.592	0.638				-2.714	1.925	-5.660	1.818	-3.552	3.059	4.331	-4.925	-0.583	-7.785	-0.606	-2.214	7.142	-2.038	-0.079
Temperatura	-0.434	-0.284				-4.995	4.230	2.288	2.240	-4.703	3.607	1.026	2.899	-4.471	-1.670	3.579	-3.565	0.870	3.436	-0.97
Precipitación	-0.013	-1.359				3.927	-1.812	2.409	-0.499	3.331	-1.237	-0.835	2.066	2.908	4.506	0.133	2.783	-2.672	1.208	0.369
Σ Vegetación			0.848	0.743	1.599	2.203	2.063	2.478	1.999	2.589	3.101	4.509	8.769	4.552	8.547	4.476	1.198	1.378	1.948	0.42
AT/c a			0.459	0.015	-0.582	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.483	1.185	2.649	-4.592	2.074	-5.112	-1.722	0.000	0.000	0.000	0.000
AH			-0.055	0.147	-0.476	-0.138	-0.304	0.558	-0.386	-0.222	0.216	1.257	-1.996	1.038	-2.914	-1.391	-0.104	-1.026	0.192	0.275
B P			0.264	0.274	0.131	0.228	0.155	0.563	0.256	0.090	0.254	0.066	0.575	0.280	0.329	0.339	0.148	0.124	0.554	0.083
PAM			0.070	0.307	0.410	-1.837	1.604	1.357	1.357	-1.794	1.446	0.537	1.606	-1.160	-0.192	1.024	-0.946	0.228	1.202	-0.062
Σ Suelo			1.123	1.66	1.394	3.210	3.415	3.513	2.882	3.85	3.977	3.042	2.883	3.597	8.461	3.162	4.196	6.407	2.017	2.63
Be			0.412	0.663	0.110	-0.364	0.834	-0.208	0.731	-0.859	1.346	1.387	0.037	-0.737	-1.594	1.257	-1.031	1.799	1.097	-0.301
Je			-0.167	-0.238	-0.105	-1.004	0.587	-0.974	0.255	-0.960	0.570	0.550	-0.828	-0.958	-1.846	0.290	-0.953	1.118	-0.292	-0.446
Lo			0.021	-0.342	0.162	-0.920	0.773	-1.281	0.707	-0.991	0.838	0.664	-1.120	-0.773	-2.603	0.381	-1.018	1.909	-0.438	-0.637
Re			0.523	-0.417	1.017	-0.922	1.221	-1.050	1.189	-1.040	1.223	0.441	-0.898	-1.129	-2.418	1.234	-1.194	1.581	0.190	-1.246
Σ Clima			1.599	0.723	1.529	8.851	3.229	6.842	0.756	6.459	1.101	0.355	3.048	10.081	1.841	3.196	7.045	6.399	5.605	0.878
C(w ¹)			0.548	-0.288	0.341	4.673	-1.945	-0.607	0.110	3.575	-0.809	0.112	-0.909	5.606	1.449	-1.783	3.893	0.842	-1.502	0.554
C(w ²)			1.051	-0.435	1.188	3.791	-1.263	-1.869	0.463	2.884	-0.292	0.243	-2.139	4.475	-0.392	-1.413	2.987	1.645	-2.004	-0.232
Cb'(w ²)			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
E(T)CHw			0.000	0.000	0.000	-0.387	-0.021	4.366	0.183	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.165	-3.912	2.099	-0.092
Suma total	1.04	2.28	3.57	3.13	4.52	25.9	16.674	23.19	10.194	24.484	16.082	14.098	24.59	26.192	32.81	15.152	21.001	24.868	16.252	5.346

8.4. Análisis de Agrupamiento (AA)

Los dendrogramas resultantes de los análisis de agrupamiento (AA) tuvieron diferentes topologías, de acuerdo con la presencia o ausencia de las variables continuas (altitud, precipitación y temperatura). Así, el dendrograma con las tres variables continuas (AA 1) y con todas las variables ambientales (AA 3), mostraron la misma topología y una correlación cofenética de $r = 0.75$ cada uno, mientras que el dendrograma de las tres variables discretas (suelo, vegetación y clima, AA 2) fue distinto y tuvo una $r = 0.83$. Además, para explorar los grupos que podían formar las diez especies restantes, se hicieron otros dos AA sin las especies exclusivas de la vegetación alpina. Los grupos que formaron estas especies cuando se consideran las variables continuas fueron idénticos a los que se encontraron en los AA 1 y 3 (AA 4, $r = 0.79$), pero en el análisis con variables discretas y sin especies alpinas (AA 4), hubo un rearrreglo diferente (Fig. 8C); el dendrograma de este último análisis tuvo una $r = 0.82$. En la Tabla 6 se presentan las matrices de distancia euclidiana de los tres AA (2, 3, 4) y en la figura 8 los dendrogramas resultantes.

En los dos análisis (AA 1 y 3) que incluyeron a la altitud, temperatura y precipitación (Fig. 8A), se forman dos conjuntos de especies asociados de manera general con las dos categorías de vegetación alpina y alterada, respectivamente. En la vegetación alpina, el primero de los grupos está conformado por *R. c. chrysopsis* (*Rcc*) con *N. m. torquata* (*Nmt*), especies que cohabitan en la pradera de alta montaña (PAM), aunque la primera de ellas también fue capturada en el bosque de pino (BP); estas dos especies se encuentran a corta distancia, de acuerdo a las variables ambientales que determinan su distribución en ambos análisis (Tabla 6). A este grupo se une el de *P. melanotis* (*Pm*) con *N. alstoni* (*Na*), las cuales concurren en el BP, la PAM y cultivos en tierras altas (AT/ca); a diferencia de las anteriores, estas dos especies muestran mayor distancia entre sí (Tabla 6).

En el caso del segundo conjunto de especies, *S. m. mexicanus* (*Smm*), que se encontró en los cultivos a menor altitud y se separa de los demás roedores, los cuales se agregan en dos subconjuntos. Uno de ellos comienza con el grupo que hacen *P. m. fulvus* (*Pmf*) y *L. i. alleni* (*Lia*) con *C. m. merriami* (*Cmm*), al cual se agregan subsecuentemente *P. l. levipes* (*Pll*) y *P. d. amplus* (*Pda*). Este ensamble de especies que incluye a la mayoría de los ratones de campo del género *Peromyscus* (*Pll*, *Pda*), junto con la tuza grande (*Cmm*) y el ratón espinoso (*Lia*), se distribuye mayoritariamente en los cultivos de tierras más bajas; sólo *Lia* y *Pmf* se encontraron también en los asentamientos humanos (AH). El segundo subconjunto comienza con el grupo

que hacen *T. u. umbrinus* (*Tuu*) y *R. m. saturatus* (*Rms*), al cual se agregan *R. s. sumichrasti* (*Rss*) y *M. m. mexicanus* (*Mmm*). Este subconjunto en el que se concentran dos de las tres especies de ratones del género *Reithrodontomys* (*Rms*, *Rss*) con la tuza pequeña (*Tuu*) y el ratón metorito (*Mmm*), coincide por su distribución en los AT/ca de tierras a una altura intermedia. Cabe mencionar que *Rms* también se encontró en el BP, mientras que *Mmm* fue capturado en los cuatro tipos de vegetación, todos los cuales coinciden a esa altura intermedia.

La topología del dendrograma con la inclusión solo de las variables ambientales discretas (AA 2, Fig.8 B), también marca dos grandes conjuntos de especies. En el primero de ellos, se sigue manteniendo el ensamble de roedores que habitan en los dos tipos de vegetación alpina y que está compuesto por los dos ratones endémicos de los volcanes (*Na* y *Rcc*), la rata de campo (*Nmt*) y el ratón de orejas oscuras (*Pm*); todas estas especies coinciden en el clima ETCHw y en el suelo de tipo Re. Sin embargo, a diferencia de los otros dos dendrogramas, en este conjunto se adiciona el ratón metorito (*Mmm*) y, como resultado, *Rcc* y el grupo de *Pm* con *Na*, que se mantiene muy cercano, forman un grupo sin resolución al que se añade *Nmt*. En el segundo conjunto de especies, se forman dos subconjuntos bien definidos. En el primero de ellos, el grupo formado por *Pda* y *Rms* coincide en los mismos tipos de suelo (Lo, Je y Re), el clima C(w₂) y los cultivos (AT/ca); mientras que *Pmf*, que se añade a ellas, coincide además con la segunda especie en el BP y en el clima C(w₁). En el otro subconjunto de especies, la tuza grande (*Cmm*) se agrupa con la ardilla terrestre (*Smm*) y a ellas se añaden subsecuentemente, *Rss*, el grupo muy cercano formado por la tuza pequeña (*Tuu*) y *Pll*, así como el ratón espinoso con abazones (*Lia*). En este grupo, la mayoría de las especies coinciden por encontrarse en suelos de tipo Re, clima C(w₂) y AT/ca.

Finalmente, en el dendrograma con las variables discretas y sin las cuatro especies alpinas (AA 4, Fig. 8C), se formaron dos conjuntos, el primero de los cuales agrupa solamente a *Mmm* y a *Lia*. Por su parte, el segundo conjunto se subdividió en dos subconjuntos y de éstos, uno está conformado por el grupo de *Smm* y *Cmm*, al que se unen *Rss* y el grupo muy cercano de *Tuu* con *Pll*. El segundo subconjunto, lo hacen el grupo de *Pda* con *Rms*, al que se une *Pmf*.

En la Tabla 6 se muestran las matrices de distancia resultantes de los AA. En los dos AA que incluyen la altitud, temperatura y precipitación (Todas y Continuas), se observa que la distancia más corta es la que existe entre *Rcc* y *Nmt*, seguida por la que hay entre *Pmf* y *Lia*, así como por la que hay entre *Cmm* y *Lia*. Las tres distancias mayores que se dan en estos análisis en orden decreciente son la que hay entre *Smm* tanto con *Rcc* y *Nmt*, seguida por la que hay entre

Pda con esas mismas especies, pero en orden descendente, respectivamente. A diferencia de estos análisis, en el AA 2 con las variables discretas, la distancia que media tanto entre *Pm* y *Na* como entre *Tuu* y *Pll* es nula. Las siguientes distancias más cortas son 0.41 y 0.50 que se repiten entre diferentes grupos de especies. En este análisis, la especie que se encuentra más distante es *Pmf* con *Nmt*, mientras que *Pda* lo está tanto con *Mmm* como con *Rcc*, respectivamente y la siguiente especie más distante de otras es *Cmm* que se separa a la misma distancia de *Pm*, *Na*, *Mmm* y *Rcc*. En el AA 4 con las variables discretas, pero sin los roedores alpinos, las especies que se encuentran prácticamente juntas entre sí son *Tuu* y *Pll*; a éstas le siguen, por su menor distancia, *Smm*, tanto con *Cmm* como con *Rss*. En ese mismo análisis, la especie más distante de otras es *Mmm* tanto con *Pda* como con *Cmm*.

Por último, al comparar los resultados de los AA con pruebas de Mantel, los dos que incluyen a las variables continuas (AA 1 y 3) están altamente correlacionados ($r = 1.00$; $t = 6.32$; P de $Z < Z$ observada = 1.0). En cambio, cuando se hace la comparación entre los análisis con variables continuas y discretas (AA 2 y 3), la correlación es muy pobre ($r = 0.42$; $t = 3.54$; P de que $Z < Z$ observada = 0.99). Los únicos grupos que permanecen en un árbol de consenso entre esos dos análisis son los que forman *Na* con *Pm* y *Rcc* con *Nmt*, ya que las demás especies quedan sin resolución en el dendrograma. Cuando se obtuvieron los dendrogramas sin las especies alpinas y usando por separado las variables continuas (que es idéntico a los AA 1 y 3) y las discretas (AA 4), la correlación todavía es menor que entre los AA con las especies alpinas (AA 1 y AA 2); asimismo, la prueba de Mantel mostró diferencias significativas entre los dendrogramas ($r = 0.12$; $t = 0.63$; P de que $Z < Z$ observada = 0.74). En este caso, no se encontró ningún par o grupo de especies común entre los dendrogramas y a lo más que se llega es a que *Pda* se encuentra en el mismo grupo que *Pmf*, pero asociados con otras especies de manera diferente. Debido a la diferencia en el número de especies, no fue posible aplicar estas pruebas entre los dendrogramas con las especies alpinas ($n = 14$) y los que se hicieron sin ellas ($n = 10$), pero al obtener resolución en el AA 4, se consideraron los agrupamientos para los análisis canónicos discriminantes.

Tabla 6.- Matrices de distancias euclidianas para 14 especies de roedores silvestres del Volcán La Malinche, Tlaxcala, México, de acuerdo a la forma en que las seis variables ambientales determinan su distribución. **Todas (AA 3)** = incluye a las seis variables ambientales; **Continuas (AA 1)** = incluye altitud, temperatura y precipitación; **Discretas (AA 2)** = incluye tipos de suelo, vegetación y clima; **Discretas s/alpinas (AA 4)** = como el anterior y excluyendo a las cuatro especies que se distribuyen en la vegetación alpina (*Rcc*, *Nmt*, *Pa* y *Na*). AA = análisis de agrupamiento; el número corresponde con la forma en que se hizo. Véase el texto.

TODAS (AA 3)

	<i>Rcc</i>	<i>Nmt</i>	<i>Pm</i>	<i>Na</i>	<i>Pmf</i>	<i>Lia</i>	<i>Cmm</i>	<i>Pll</i>	<i>Pda</i>	<i>Tuu</i>	<i>Rms</i>	<i>Rss</i>	<i>Mmm</i>	<i>Smm</i>
<i>Rcc</i>	0.00													
<i>Nmt</i>	3.92	0.00												
<i>Pm</i>	79.27	75.41	0.00											
<i>Na</i>	123.94	120.07	44.67	0.00										
<i>Pmf</i>	201.17	197.44	126.21	87.39	0.00									
<i>Lia</i>	207.17	203.43	131.89	92.46	6.22	0.00								
<i>Cmm</i>	219.20	215.44	143.38	102.98	18.60	12.41	0.00							
<i>Pll</i>	208.69	204.85	130.40	87.07	28.76	26.62	26.50	0.00						
<i>Pda</i>	254.29	250.61	180.41	141.38	54.31	48.94	38.97	62.45	0.00					
<i>Tuu</i>	178.75	174.93	100.96	58.90	31.23	35.09	44.43	30.21	83.28	0.00				
<i>Rms</i>	156.30	152.49	79.21	39.75	47.85	53.17	64.29	52.94	102.08	22.73	0.00			
<i>Rss</i>	158.80	154.93	79.53	34.87	62.74	66.46	74.88	54.76	113.83	31.52	26.24	0.00		
<i>Mmm</i>	153.54	149.90	83.27	55.62	49.84	56.04	68.43	67.62	100.97	41.34	27.54	53.56	0.00	
<i>Smm</i>	264.66	260.79	185.39	140.73	87.17	82.26	73.03	63.10	80.65	91.51	113.49	105.86	130.70	0.00

CONTINUAS (AA 1)

	<i>Rcc</i>	<i>Nmt</i>	<i>Pm</i>	<i>Na</i>	<i>Pmf</i>	<i>Lia</i>	<i>Cmm</i>	<i>Pll</i>	<i>Pda</i>	<i>Tuu</i>	<i>Rms</i>	<i>Rss</i>	<i>Mmm</i>	<i>Smm</i>
<i>Rcc</i>	0.00													
<i>Nmt</i>	8.74	0.00												
<i>Pm</i>	177.25	168.61	0.00											
<i>Na</i>	277.13	268.48	99.88	0.00										
<i>Pmf</i>	449.84	441.48	282.21	195.40	0.00									
<i>Lia</i>	463.25	454.88	294.92	206.75	13.87	0.00								
<i>Cmm</i>	490.13	481.73	320.60	230.25	41.57	27.71	0.00							
<i>Pll</i>	466.64	458.06	291.58	194.69	64.30	59.51	59.24	0.00						
<i>Pda</i>	568.61	560.38	403.41	316.13	121.43	109.43	87.13	139.64	0.00					
<i>Tuu</i>	399.70	391.14	225.76	131.71	69.82	78.45	99.33	67.55	186.21	0.00				
<i>Rms</i>	349.50	340.97	177.11	88.88	106.98	118.89	143.75	118.36	228.25	50.81	0.00			
<i>Rss</i>	355.09	346.44	177.83	77.96	140.29	148.60	167.44	122.44	254.52	70.48	58.66	0.00		
<i>Mmm</i>	343.32	335.19	186.20	124.37	111.44	125.31	153.02	151.20	225.77	92.44	61.57	119.76	0.00	
<i>Smm</i>	591.80	583.15	414.55	314.67	194.92	183.94	163.30	141.10	180.35	204.61	253.76	236.72	292.26	0.00

Tabla 6.- Continúa...

DISCRETAS (AA 2)														
	<i>P m</i>	<i>Na</i>	<i>Mmm</i>	<i>Rcc</i>	<i>Nmt</i>	<i>Pda</i>	<i>Rms</i>	<i>Pmf</i>	<i>Smm</i>	<i>Cmm</i>	<i>Rss</i>	<i>Tuu</i>	<i>PII</i>	<i>Lia</i>
<i>P m</i>	0.00													
<i>Na</i>	0.00	0.00												
<i>Mmm</i>	0.41	0.41	0.00											
<i>Rcc</i>	0.41	0.41	0.41	0.00										
<i>Nmt</i>	0.58	0.58	0.58	0.41	0.00									
<i>Pda</i>	0.76	0.76	0.87	0.87	0.76	0.00								
<i>Rms</i>	0.58	0.58	0.71	0.71	0.82	0.50	0.00							
<i>Pmf</i>	0.76	0.76	0.76	0.87	0.96	0.58	0.50	0.00						
<i>Smm</i>	0.71	0.71	0.71	0.71	0.58	0.50	0.58	0.76	0.00					
<i>Cmm</i>	0.82	0.82	0.82	0.82	0.71	0.65	0.71	0.76	0.41	0.00				
<i>Rss</i>	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.65	0.58	0.76	0.41	0.58	0.00			
<i>Tuu</i>	0.65	0.65	0.65	0.65	0.76	0.71	0.50	0.58	0.50	0.50	0.50	0.00		
<i>PII</i>	0.65	0.65	0.65	0.65	0.76	0.71	0.50	0.58	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00	
<i>Lia</i>	0.65	0.65	0.50	0.65	0.76	0.71	0.65	0.58	0.65	0.76	0.50	0.58	0.58	0.00

DISCRETAS s/alpinas (AA 4)										
	<i>Mmm</i>	<i>Lia</i>	<i>Rms</i>	<i>Pda</i>	<i>Pmf</i>	<i>Tuu</i>	<i>PII</i>	<i>Rss</i>	<i>Smm</i>	<i>Cmm</i>
<i>Mmm</i>	0.00									
<i>Lia</i>	0.52	0.00								
<i>Rms</i>	0.74	0.67	0.00							
<i>Pda</i>	0.90	0.74	0.52	0.00						
<i>Pmf</i>	0.80	0.60	0.52	0.60	0.00					
<i>Tuu</i>	0.67	0.60	0.52	0.74	0.60	0.00				
<i>PII</i>	0.67	0.60	0.52	0.74	0.60	0.00	0.00			
<i>Rss</i>	0.60	0.52	0.60	0.67	0.80	0.52	0.52	0.00		
<i>Smm</i>	0.74	0.67	0.60	0.52	0.80	0.52	0.52	0.43	0.00	
<i>Cmm</i>	0.85	0.80	0.74	0.67	0.80	0.52	0.52	0.60	0.43	0.00

8.5. Análisis Canónicos Discriminantes (ADC)

Para los ADC (Figs. 9 y 10, Tabla 7), se usaron los ensambles de especies que se conformaron en los AA (Fig. 8) como grupos *a priori* y en todos los casos, las cuatro especies alpinas fueron consideradas como un solo grupo. En el ADC 1 (Fig. 9), las especies no alpinas, se manejaron como un solo grupo, quedando dos grupos *a priori* de especies (alpinas y no alpinas); en este análisis se incluyeron todas las variables ambientales. El ADC 2 (Fig. 10A), se manejó como una variante del ADC 1, usando los tres grupos que se formaron en las especies no alpinas, en los AA con las variables continuas y todas las variables; en consecuencia, en este análisis se sometieron a prueba cuatro grupos *a priori* de especies. En el ADC 3 (Fig. 10B) se hizo lo mismo, pero se usaron los grupos del AA con las variables discretas y sin las especies

alpinas, quedando también cuatro grupos *a priori* de roedores. En los tres ADC, los grupos *a priori* fueron sostenidos, ya que no se presentaron diferencias significativas con los grupos predichos (Tabla 7).

Tabla 7.- Grupos *a priori* de roedores, para los análisis discriminantes canónicos (ADC). Las claves de las especies son como en la tabla 1. Se muestran las pruebas para los grupos propuestos (Gap) y los grupos predichos (Gp) que se indican con diferente letra minúscula.

Sp	ADC 1				ADC 2				ADC 3			
	Gap	Gp	p	gl	Gap	Gp	p	gl	Gap	Gp	p	gl
Cmm	b	b	0.98	1	d	d	0.96	3	c	c	0.94	3
Lia	b	b	0.54	1	c	c	0.41	3	c	c	0.37	3
Mmm	b	b	0.83	1	c	c	0.41	3	b	b	0.85	3
Nmt	a	a	0.38	1	a	a	0.72	3	a	a	0.72	3
Na	a	a	0.38	1	a	a	0.33	3	a	a	0.22	3
Pda	b	b	0.83	1	b	b	0.99	3	c	c	0.91	3
Pll	b	b	0.03	1	d	d	0.19	3	c	c	0.27	3
Pmf	b	b	0.74	1	b	b	0.72	3	c	c	0.66	3
Pm	a	a	0.32	1	a	a	0.57	3	a	a	0.32	3
Rcc	a	a	0.32	1	a	a	0.52	3	a	a	0.37	3
Rms	b	b	0.71	1	b	b	0.72	3	b	b	0.81	3
Rss	b	b	0.58	1	d	d	0.62	3	b	b	0.59	3
Smm	b	b	0.93	1	d	d	0.96	3	d	d	1.00	3
Tuu	b	b	0.08	1	d	d	0.14	3	b	b	0.23	3

Los resultados de los ADC, incluyendo el comportamiento de las funciones canónicas (CAN), la λ de Wilks y la X^2 , se muestran en la Tabla 8. En el ADC 1, al considerar sólo dos grupos de especies (alpinas y las otras), se formó una sola función canónica (CAN 1), mientras que en los otros dos ADC con cuatro grupos cada uno, se formaron tres (CAN 1-3). En todos los ADC, la primera función canónica (CAN 1) explicó las tres cuartas partes o hasta la totalidad de la variación. Salvo CAN 3 del ADC 2, todas las funciones tuvieron una λ de Wilks significativa. En la prueba de X^2 , sólo las CAN 1 de los ADC 1 y 2 fueron significativas al nivel de $\alpha = 0.05$.

Tabla 8.- Resultados de los análisis discriminantes canónicos (ADC). Véase el texto.

Análisis	CAN	Eigenvalor	% de Varianza	% Acumulado	Correlación canónica	Pruebas las CAN	λ de Wilks	X^2	gl	p
ADC1	1	631.090	100	100.0	0.999	1	0.002	38.694	12	0.000
	1	450.929	96.2	96.2	0.999	1 a 3	0.000	59.511	30	0.001
ADC2	2	16.236	3.5	99.7	0.971	2 a 3	0.022	22.829	18	0.197
	3	1.606	0.3	100.0	0.785	3	0.384	5.747	8	0.676
ADC3	1	39.223	76.5	76.5	0.987	1 a 3	0.001	42.591	30	0.064
	2	10.453	20.4	96.8	0.955	2 a 3	0.033	20.424	18	0.309
	3	1.627	3.2	100.0	0.787	3	0.381	5.794	8	0.670

Cuando son examinadas en conjunto (Tabla 9, sumas), las variables ambientales que más contribuyen a explicar la distribución de las 14 especies de roedores, fueron las variables continuas (altitud, precipitación, temperatura) y los tipos de vegetación en todas las funciones canónicas, excepto en CAN 1 del ADC 1, en la que los tipos de clima son más importantes que las variables continuas en conjunto: De hecho, esa es la única función en que se toma en cuenta a los climas $C(w_1)$ y $C(w_2)$, ya que en el ADC 2 sólo entró el segundo tipo de clima y en el ADC 3, ningún tipo de clima es introducido en el análisis, ya que ninguno cumplió con las pruebas de tolerancia al nivel de 0.0001. Debido a eso, en conjunto, los tipos de suelo ocupan el tercer o cuarto lugar en importancia dentro de todas las funciones canónicas.

Tabla 9.- Importancia de seis variables ambientales en la distribución de 14 especies de roedores en el Volcán La Malinche, Tlaxcala, México. Las variables que no aparecen (Lo , $Cb'(w_2)$, $E(T)CHw$) o que no tienen valor en la tabla, no cumplieron las pruebas de tolerancia a un nivel mínimo de 0.001.

Coeficientes Canónicos Estandarizados							
Variables ambientales	ADC 1	ADC 2			ADC 3		
	CAN1	CAN1	CAN2	CAN3	CAN1	CAN2	CAN3
Altitud	-1.888	1.160	1.963	2.389	1.252	-2.710	0.970
Precipitación	8.835	9.992	0.047	-0.031	0.672	2.518	0.593
Temperatura	-9.517	9.471	0.569	0.943	-0.148	1.684	2.687
Suma	20.24	20.623	2.579	3.363	2.072	6.912	4.25
A T/c a	5.132	-3.691	1.548	0.839	0.630	-4.565	-1.938
AH	-14.447	-4.220	0.369	0.217	-1.022	1.441	1.086
BP	6.276	-5.551	-1.486	-0.692	0.116	-0.054	-0.489
PAM	9.154	4.056	-0.806	0.321	1.129	1.840	1.161
Suma	35.009	17.518	4.209	2.069	2.897	7.9	4.674
Be	-0.667	11.352	-0.011	-0.679	-0.224	-0.152	0.767
Je	-3.939				0.722	1.496	1.191
Re	-6.753	-0.446	0.652	0.440	0.053	-0.898	-0.561
Suma	11.359	11.798	0.663	1.119	0.999	2.546	2.519
$C(w_1)$	21.213						
$C(w_2)$	2.226	-2.085	1.563	1.299			
Suma	23.439	2.085	1.563	1.299	Suma	23.439	2.085
TOTAL	90.047	52.024	9.014	7.85	5.968	17.358	11.443

Si se revisa la influencia de cada una de las variables ambientales en las siete funciones canónicas de los tres ADC (Tabla 9, sumas), considerando el conjunto en el que se encuentra (variables continuas, tipos de vegetación, de suelo y de clima), se observa que la altitud y la precipitación suelen encontrarse mayor número de veces en el primer lugar, mientras que la temperatura ocupa mayoritariamente el segundo lugar. En los tipos de vegetación, se observa que

las dos condiciones alteradas son más importantes que la vegetación alpina en cinco de las siete funciones canónicas; las excepciones se presentan en las dos primeras funciones canónicas (CAN 1 y 2) del ADC 2, en donde la vegetación alpina es más importante. Por cuanto a los tipos de suelo, predomina el fluvisol cuando está presente en las funciones, o bien, el regosol, nuevamente.

Tabla 10.- Coordenadas en el Espacio Discriminante para las 14 especies de roedores estudiadas en el Volcán La Malinche, Tlaxcala, México. De acuerdo con el ADC, las primeras dos funciones se grafican en las figuras 9 y 10 Véase el texto.

Especie	ADC 1		ADC 2			ADC 3		
	CAN1	CAN2	CAN1	CAN2	CAN3	CAN1	CAN2	CAN3
<i>Cmm</i>	-14.733	15.555	2.441	-1.342	-5.178	-0.328	1.631	
<i>Lia</i>	-15.316	-31.819	-1.724	-2.699	-6.142	-0.936	-0.237	
<i>Mmm</i>	-14.5	-31.79	-4.202	-0.407	0.291	-2.509	-0.956	
<i>Nmt</i>	35.9	10.125	-3.473	1.472	7.959	0.006	-0.374	
<i>Na</i>	37.652	9.03	-4.941	-0.794	6.87	2.367	-0.407	
<i>Pda</i>	-14.5	-17.691	4.093	1.345	-5.415	-0.152	1.612	
<i>Pll</i>	-16.831	17.693	2.15	-0.886	-3.497	-0.074	-0.196	
<i>Pmf</i>	-14.383	-17.633	3.736	0.147	-5.015	-0.008	2.241	
<i>Pm</i>	35.78	10.111	-3.11	1.434	8.429	-1.008	0.801	
<i>Rcc</i>	37.765	9.101	-5.635	1.282	8.14	1.639	2.027	
<i>Rms</i>	-15.083	-17.035	3.76	2.355	0.364	-3.006	-1.547	
<i>Rss</i>	-14.15	15.499	1.019	-1.163	-0.289	-1.324	-1.985	
<i>Smm</i>	-14.616	15.297	2.789	-0.88	-4.161	8.704	-1.611	
<i>Tuu</i>	-12.985	13.557	3.096	0.136	-2.354	-3.371	-0.997	

En la Tabla 10 se muestran las coordenadas de las 14 especies en el espacio discriminante y en las figuras 9 y 10 la representación gráfica en una o dos dimensiones, respectivamente. En el ADC 1 (Fig. 9A), las gráficas muestran por un lado a las cuatro especies alpinas en tres histogramas, ya que *Nmt* y *Pm* se encuentran apiladas. De la misma manera, las diez especies que se distribuyen mayoritariamente en zonas alteradas (Fig. 9B), se arreglan en seis histogramas, ya que *Mmm*, *Pmf*, *Pda*, *Smm* y *Cmm* se apilan. En los otros dos ADC (2-3), los cuatro grupos de especies respectivos, se arreglan en el espacio discriminante claramente separados entre sí.

En el ADC 2 (Fig. 10A), *Smm* segregada del resto de las especies en el grupo **d**, se muestra más distante de los otros tres grupos. Asimismo, los ensambles de especies en los grupos **b** y **c** se encuentran más cercanos entre sí que con los demás. Finalmente, el grupo **a** se aleja de estos dos grupos, pero a menor distancia de cómo lo hace el **c**. Al interior de los tres grupos con

varias especies, también se observa una mayor cercanía relativa entre algunas de ellas. En el grupo **b**, *Pda*, *Pmf* y *Cmm* se agregan alrededor del centroide, mientras que *Lia* y *Pll* se separan del mismo hacia abajo y a la derecha, respectivamente. En el grupo **c**, las especies se asocian en menor grado con el centroide, siendo *Mmm* y *Rms* las más cercanas entre sí y con el mismo; *Rss* y, especialmente, *Tuu* se separan hacia arriba y abajo, respectivamente. El comportamiento del grupo **a** es semejante al anterior, ya que las especies nos se agregan cercanamente al centroide y se van colocando de arriba hacia la izquierda y de abajo a la derecha, todas separadas entre sí, aunque *Na* y *Rcc* se ubican hacia arriba del centroide y *Nmt* y *Pm*, hacia abajo.

Los cuatro grupos de especies en el ADC 3 (Fig. 10B) se separan claramente entre sí y aunque los grupos **a** y **d**, se muestran relativamente más cercanos entre sí, las distancias son más amplias que en el ADC 2. La distribución de las especies en el grupo **a**, observa el mismo arreglo que en el ADC 2. En el grupo **b**, *Pmf*, *Rms* y *Pda* se aglutinan alrededor del centroide, quedando las dos primeras muy cercanas entre sí y dentro del centroide, mientras que la tercera se ubica de manera adyacente, arriba del mismo. Las dos especies que conforman el grupo **c**, se separan del centroide, *Lia* se ubica por arriba, mientras que *Mmm* se que se coloca por abajo. En el último grupo (**d**), Sólo *Cmm* se encima al centroide hacia arriba y en esa dirección se colocan subsecuentemente, *Smm* y *Tuu*. Hacia la derecha del centroide está *Pll* y más retirada que las demás, hacia abajo, lo hace *Rss*.

De acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis, observamos que el clima se destaca como la variable importante, por ser el principal determinante de la disponibilidad de agua y de la temperatura del lugar. Además, el clima también determina el tipo y composición del suelo; a su vez, estos tres factores (agua, temperatura y suelo) son determinantes para el tipo de vegetación que puede establecerse. El suelo también es un factor fundamental para determinar la disponibilidad de agua y minerales que son esenciales para el crecimiento de las plantas.

En cuanto al tipo de suelo, en el Volcán La Malinche, el tipo más predominante y más ampliamente distribuido es el Regosol Eútrico (Re) y, por ende, es el que mayor número de veces aparece en la distribución de los roedores. Este tipo de suelo se caracteriza por ser el manto de alteración que cubre la tierra, desarrollándose sobre materiales no consolidados, alterados y de textura fina que generalmente aparecen en cualquier zona climática sin “permafrost”; en consecuencia, este suelo se encuentra a cualquier altitud por lo que además de ser común en las regiones montañosas, su uso y manejo varían ampliamente. El Cambisol

Eútrico (Be) que en el Volcán La Malinche se encuentra por debajo de los 2,500 m, en la parte N del volcán y el Regosol Eútrico son suelos que predominan en la agricultura de temporal. El Cambisol, es un suelo típicamente de clima templado húmedo como el que hay en las partes altas de La Malinche. Por su parte, el luvisol es un suelo típicamente de clima mediterráneo húmedo con estación seca intensa que se encuentran en cualquier clima, a excepción de los tropicales y subtropicales. En La Malinche encontramos Fluvisol Eútrico (Je) por arriba de los 2500 y hasta los 3,000 m en las partes N y E, mientras que el Luvisol Ortico (Lo) se encuentra en un área reducida, solo por debajo de los 2,600 m al E (Ortiz y Ortiz 1990).

Los tipos de clima que se distribuyen conforme al gradiente altitudinal del Volcán La Malinche incluyen C(w₁) de los 2,300 a los 2,500 m; el C(w₂) se extiende de los 2,400 a los 3,000 m; el Cb'(w₂) de los 2,800 a los 3,600 m y el E(T)CHw de los 3,400 a los 4,460 m; existe una clara estratificación altitudinal del clima en el área de estudio, el cual muestra un mosaico de variantes en donde el clima se sobrepone, de tal suerte que podemos encontrar distintas características en un mismo nivel altitudinal, causado principalmente por la topografía.

Como consecuencia de la estratificación del clima, especialmente de la temperatura y la humedad, también puede reconocerse un gradiente altitudinal en los tipos de vegetación presentes en el Volcán La Malinche. En las zonas altas por arriba del límite arbóreo (más de los 3,500 m) se encuentra la Pradera de alta montaña o alpina, conformada por especies de pastos de pocos centímetros de altura (*Festuca amplissima*, *Muhlenbergia macroura*, *Stipa ichu* y *Eryngium* spp). La precipitación media anual en este hábitat es de 1,100 mm y las temperaturas promedio varían de 3 a 5 °C. Por debajo de la pradera alpina, se presenta el Bosque de coníferas en una región templada a semifría. En este tipo de vegetación, el bosque de pinos es el de mayor importancia, representado por el género *Pinus*, que se distribuye desde los 2,700 a los 3,560 m; en este hábitat, las condiciones son evidentemente de mayor humedad con una precipitación media anual de 1,100 mm, ligada a una temperatura media anual de 5 a 11 °C. Finalmente, en las tierras bajas (debajo de los 2,870 m) tenemos la presencia de áreas de cultivos de riego (v. gr., maíz, haba, cebada, trigo, avena, entre otros), en donde la precipitación media anual va de los 700 a los 1,100 mm y la temperatura media anual de 10 a 15 °C.

Con los resultados obtenidos, en el Volcán La Malinche se pueden reconocer básicamente dos zonas altitudinales, de acuerdo a la vegetación y a los factores ambientales analizados:

1.- Zona de altitudes bajas y/o vegetación alterada por debajo de los 2,950 m.

Esta zona se caracteriza por que incluye la vegetación alterada por actividades humanas como la Agricultura de Temporal y los Asentamientos Humanos, los cuales están asociados con algunos manchones de Pastizal Inducido, así como con las partes más bajas del Bosque de Pino y con la franja que corresponde al Bosque de Encino (2,600 m). En esta zona de condiciones más secas y templadas, habitan 10 de las 14 especies entre los 2,650 a 2,900.

2. Zona de vegetación alpina o de altitudes por arriba de los 2,950 m.

Incluye el hábitat del Bosque de Pino, el cual se extiende desde los 2,700 a los 3,600 m y se asocia con Bosque de Pino y Oyamel. De manera especial, a los 3,600 m queda incluida la Pradera de Alta Montaña, que se extiende hasta los 4,000 m. Son cuatro las especies que se distinguen del resto por su ubicación exclusiva de la vegetación alpina, en suelos con abundante cobertura vegetal y que ocurren en ambientes de los 2,950 hasta los 3,600 m.

Asimismo, del análisis del comportamiento de las variables ambientales y de la relación entre ellas, se desprende que la temperatura y la precipitación también varían con la altitud, siendo ésta una característica fundamental que explica la estratificación vegetal. Así, la temperatura disminuye conforme aumenta la altitud a razón aproximadamente de 3 °C por cada 200 m, mientras que la precipitación aumenta, aunque sin una proporción bien definida, por lo que en la figura 6 C no se aprecia un patrón reconocible debido a esta variable, sin embargo, cabe mencionar que en los primeros 400 m tenemos una precipitación de 700 a 900mm y en los siguientes 1000 m predominan los 1100mm.

9. DISCUSIÓN

A diferencia de los estudios que se hacen para inventarios faunísticos y en los cuales solo se obtienen registros de las especies en un área determinada, en este trabajo los registros de las especies se asociaron con información geográfica y ambiental de manera novedosa para dilucidar patrones de distribución especie-específicos y para explorar su relación con ciertas variables ambientales. De esta manera, los datos de los ejemplares depositados en la Colección de Mamíferos de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, al ser asociados con la información de las bases en un sistema de información geográfica, permitieron encontrar que la distribución de los roedores en el Volcán La Malinche presenta un patrón relacionado con algunos factores ambientales. Si bien, el establecimiento de patrones de distribución suele basarse en la captura y recaptura de ejemplares en estudios ecológicos *ad hoc* (Vargas-Contreras y Hernández-Huerta 2001, Pardiñas Ulyses *et al.* 2004), se considera que el patrón encontrado mediante esta metodología, permite explicar cómo influyen los factores ambientales analizados sobre la distribución de los roedores en el Volcán La Malinche.

La validez de la existencia de patrones de distribución de especies con base en el acervo de colecciones científicas ha sido cuestionada debido a que el método de captura es dirigido, más que al azar, usando captura-recaptura, por cuadrantes o transectos (Dra. Castro-Campillo com. pers. junio 2005). Sin embargo, como la estimación de la variedad de especies representa el primer paso para el estudio de la distribución espacial de una población (Smith y Smith 2001), se considera que las colecciones científicas representan un punto de partida importante, ya que en ellas, los ejemplares capturados cuentan con información sobre la localidad de procedencia, además de que han sido identificados y catalogados por expertos (Ramírez-Pulido *et al.* 1989). De esas ventajas, el análisis de los acervos documentales y de los ejemplares depositados en una colección científica brindan la oportunidad de hacer estudios en donde se aproveche para diversos fines la información disponible, tanto para contar con información disponible para poder determinar por ejemplo zonas de alta densidad y riqueza de especies, entre otras.

También se ha mencionado que cuantificar el esfuerzo de muestreo es imprescindible para evaluar la calidad de la información biológica disponible (Vargas-Contreras y Hernández-Huerta 2001), lo cual no es siempre sencillo en el caso de datos provenientes de colecciones científicas, ya que los datos en los diarios de campo, u otros documentos de referencia, pueden ser imprecisos o inexistentes; además, determinar cuán completos son nuestros inventarios

también puede implicar dificultades. De hecho, rara vez puede demostrarse que incrementar el esfuerzo de muestreo en un territorio, permite descubrir nuevas especies de un grupo cualquiera (Gaston 1996). Más aún, los datos sobre la distribución de una especie se limitan a constatar su presencia, sin existir medida alguna que permita diferenciar su ausencia de la falta de muestreo o de que éste tenga deficiencias.

Ahora bien, se sabe que los parámetros climáticos y los componentes del ambiente local, temperatura, precipitación y las características del suelo, varían a lo largo de la mayoría de los gradientes altitudinales. Así que en este estudio se analizó si había alguna relación de las variables ambientales incluidas con el patrón de distribución de los roedores en el Volcán La Malinche a través de un gradiente altitudinal, de suerte que se pudiese valorar la importancia de dichas variables en la determinación de los patrones de distribución. Cabe destacar que como un paso previo para entender y abordar los objetivos planteados en el trabajo, fue necesario documentar la variación de las características del medio ambiente físico sobre el terreno a través de un SIG, para lo cual se tomaron en cuenta factores abióticos (factores climáticos) y bióticos (tipos de vegetación), construyéndose un modelo integrado. Este enfoque metodológico ya ha sido usado con eficacia para analizar datos derivados de colecciones científicas en relación con otros aspectos (Illoldi Rangel y Sánchez-Cordero 2001, Sans-Fuentes y Ventura 2000).

Las condiciones en que viven la mayoría de los organismos corresponden a microclimas (Smith y Smith 2001). Al respecto, en La Malinche las condiciones varían entre ellas y de un punto a otro del terreno, creando una amplia variedad de hábitats localizables bajo la tierra, en la superficie, bajo la vegetación del bosque, en la ladera o en la cima del Volcán; estos hábitats están determinados por su temperatura, humedad y altitud entre otros.

La altitud también influye directamente sobre los tipos de vegetación, de acuerdo al tipo de suelo y de clima en el Volcán La Malinche. Como la vegetación interviene en la formación del suelo y en la caracterización del tipo de clima, se observa una gran relación entre estas variables en los resultados del ACC. Este patrón de correlación entre variables ambientales en un gradiente altitudinal ha sido ampliamente documentado en la literatura (Cox y Moore 1989 y Brown y Lomolino 1998).

De esta manera, en el Volcán La Malinche, el gradiente altitudinal destaca como un conjunto de limitaciones reconocibles, impuestas por factores climáticos que se suman a otros y

que, en conjunto, permiten la diferenciación y matización del escenario ecológico para la distribución de los roedores. De hecho, los resultados de este trabajo permiten entender la importancia relativa que las variables ambientales analizadas tienen sobre dichos patrones de distribución. Es por ello que se pueden observar diferentes formas de organismos adaptadas a distintos tipos de ambientes. Es sabido que los niveles mínimos y máximos de tolerancia a las condiciones ambientales (rango óptimo) definen los límites de la distribución de una especie (Cox y Moore 1989 y Brown y Lomolino 1998). En el Volcán La Malinche, es claro que la jerarquía de ambientes físicos adecuados limita el área de distribución de los roedores, es decir, que las distintas especies no son indiferentes a los rasgos ambientales, lo cual les permite ocupar distintos nichos y aprovechar de mejor manera los recursos (Hutchinson 1981).

De acuerdo a los análisis realizados y como ya se menciona, en el Volcán La Malinche se pueden reconocer básicamente dos zonas altitudinales:

1. Zona de altitudes bajas y/o vegetación alterada por debajo de los 2,950 m. En esta zona habitan 10 de las 14 especies las cuales incluyen siete especies de ratones *Liomys irroratus alleni*, *Microtus mexicanus mexicanus*, *Reithrodontomys megalotis saturatus*, *R. sumichrasti sumichrasti*, *Peromyscus maniculatus fulvus*, *P. levipes levipes*, *P. difficilis amplus*, a la ardilla terrestre *Spermophilus mexicanus mexicanus* y a las tuzas *Thomomys umbrinus umbrinus* y *Cratogeomys merriami merriami*. Cabe señalar que en esta zona se observa que existen dos áreas, una de altitud intermedia, por encima de los 2,600 m, en donde ocurren las seis primeras especies de ratones y la tuza pequeña *T. u. umbrinus* y el área que se encuentra por debajo de esa altitud, donde encontramos especies que invaden los sistemas de cultivo con alta degradación y que incluye a *P. d. amplus*, *S. m. mexicanus* y a *C. merriami merriami*.

2. Zona de vegetación alpina o de altitudes por arriba de los 2,950 m. Encontramos a cuatro especies, se distinguen del resto por su ubicación exclusiva de la vegetación alpina, estas especies son: *Reithrodontomys chrysopsis chrysopsis*, *Neotoma mexicana torquata*, *Peromyscus melanotis* y *Neotomodon alstoni*. Sin embargo, *Nmt* que mantiene una distribución en La Malinche en condiciones alpinas, esta especie debe tomarse con ciertas reservas, ya que su distribución global es más amplia de lo observado en este análisis, la cual no se restringe a la vegetación alpina, esto causado por la inclusión de un solo ejemplar en este estudio.

Una forma de explicar la alta incidencia de especies en la vegetación alterada, es que una gran parte del suelo del Volcán La Malinche ha sido dedicada a labores agrícolas, las cuales han desplazado a la vegetación nativa. En ese sentido, la distribución de doce especies de roedores en la vegetación alterada, puede estar relacionada con su preferencia por las praderas o áreas abiertas, en las que los conjuntos de rocas pueden servir como refugios. Cuando estas especies coexisten en vegetación boscosa, parecen segregarse en subgrupos, de acuerdo a la arquitectura dada por los distintos estratos y por la sucesión altitudinal de comunidades vegetales. En cambio, con la introducción de cultivos, e inclusive de asentamientos humanos, en la separación de las especies parece predominar el gradiente altitudinal decreciente, ligado a las condiciones de mayor temperatura y menor humedad.

Si se consideran en conjunto los intervalos de altitud que mencionan varios autores en la compilación de Ceballos y Oliva (2005), para las 14 especies incluidas, se tiene que éstas se pueden encontrar desde el nivel del mar (v. gr., *Liomys irroratus*, *Reithrodontomys megalotis* y *Neotoma mexicana*) hasta los 4,960 m (*Neotomodon alstoni*); asimismo, que todas las especies coinciden en la franja de los 2,400 a los 3,050 m. Este intervalo queda comprendido en las altitudes que se muestrearon en La Malinche (2,300 a 3,600 m), aunque, evidentemente, la distribución de las especies es más amplia que la de las subespecies o poblaciones estudiadas. En el volcán, sólo coincidieron siete de ellas en el muestreo realizado a 2 m N de Malitzin-IMSS, a 2,810 m (localidad 10), en donde también se superponen el bosque de pino y los cultivos que se han introducido en esa comunidad vegetal.

La ardilla terrestre, *Spermophilus mexicanus*, incluye dos subespecies en México (Ramírez-Pulido *et al.* 2005) y se distribuye entre los 210 y 3,200 m en matorrales desérticos y praderas intermontañas, mientras que en relación con ambientes alterados, se le ha observado en bardas pedregosas de asentamientos humanos (Castro-Campillo, *et al.* 1993; Valdés Alarcón 2005). Esta ardilla se adapta bien para cavar (Young y Jones 1982), por lo que en el Volcán La Malinche la subespecie *S. m. mexicanus* ocupa las zonas bajas que le permiten hacer sus madrigueras. Solo se capturó un ejemplar a 2,400 m en los cultivos de zonas bajas y en ausencia de otras especies.

Thomomys umbrinus, la tuza pequeña capturada en la Malinche, cuenta con 25 subespecies (Ramírez-Pulido *et al.* 2005) distribuidas en México (Morales Pérez y Castro Arellano 2005) de los 2,600 a los 3,000 m o de los 900 a los 3,870 m en praderas, zonas arbustivas bosques de pino y encino y laderas rocosas con enebros (*Juniperus*), magueyes

(*Agave*) y pastos (*Andropogon*). Por su parte, la tuza grande, *Cratogeomys merriami*, es endémica del país en donde se reconocen siete subespecies (Ramírez-Pulido *et al.* 2005), las cuales se han registrado en elevaciones de 2,600 (2,000-4,000 m), en pastizales y zacatonales de bosques templados de coníferas; además, la especie es común en cultivos (Hernández Meza y Oliva 2005), así como en jardines y en campos deportivos dentro de su distribución en el Distrito Federal y Estado de México (Dra. Castro-Campillo, com. pers., febrero 2006). Ambas, son especies hipogeas, que se asocian frecuentemente a áreas con actividades humanas, donde las características del tipo de suelo favorecen la remoción de tierra para elaborar sus madrigueras y además de encontrar en esta zona su dieta.

Entre los dos ratones grandes de campo del género *Peromyscus* que se hallaron en el Volcán La Malinche, el ratón de las rocas, *P. difficilis*, está representado en México por cinco subespecies (Ramírez-Pulido *et al.* 2005), las cuales han sido capturadas entre los 2,350 y 2,610 m o entre los 1,200 y 3,700 m en ambientes rocosos del bosque de pino y encinos, pero también en matorrales desérticos y pastizales (Chávez Tovar y Ceballos 2005). En el Volcán La Malinche, la subespecie *P. d. amplus* se recolectó en las cañadas que se encuentran en sus faldas y que cuentan con *Pinus*, *Quercus* y *Juniperus* (notas de campo la Colección de Mamíferos de la UAMI), desde zonas bajas con cultivos hasta zonas altas con bosque de pino. De manera similar, la segunda especie de ratón grande, *P. levipes*, el ratón de pies ligeros, es endémica del país con dos subespecies (Ramírez-Pulido *et al.* 2005), cuyas poblaciones han sido registradas entre los 2,420 y los 2,750 m o entre los 690 y los 3,100 m en ambientes rocosos de bosques de pino, pino-encino, de galería, de matorral de encinos y tropical caducifolio (Chávez Tovar 2005). En La Malinche, la subespecie nominal, *P. l. levipes*, fue recolectada en matorral de *Quercus* con pastos amacollados y en los bordes de campos con maíz (notas de campo de la Colección de Mamíferos de la UAMI).

De las otras dos especies de *Peromyscus*, correspondientes a especies de tamaño pequeño dentro del género, *P. maniculatus*, el ratón de manos blancas, es la que tiene la distribución más amplia por cuanto a intervalos de altitud, ya que las 16 subespecies (Ramírez-Pulido *et al.* 2005) que se presentan en México, han sido registradas de los 2350 a 2870 m y de los 60 a 3,800 m en bosques mixtos y de pino, en pastizales, matorrales xerófilos, desiertos y en zonas áridas; también se les ha capturado en las cercanías de cultivos o en los mismos (Ramírez-Pulido *et al.* 2005b). Esta especie que tiene una amplia distribución en Norteamérica, incluyendo poblaciones insulares endémicas, ocupa diversas zonas ecológicas, pues se le encuentra en hábitats alpinos,

desiertos, praderas, campos agrícolas y hábitats tropicales; sin embargo, sus ambientes más comunes son praderas, áreas espesas y bosques (Baker 1968). En el Volcán La Malinche, la subespecie *P. m. fulvus*, mostró mayor abundancia en las zonas agrícolas, pero también fue registrada en zonas altas con bosque de coníferas, aunque nunca se le capturó en el pastizal alpino, en donde habita el ratón de orejas oscuras, *P. melanotis*, la otra especie pequeña del género, con la que podría competir.

Por su parte, *P. melanotis* es una especie monotípica a la que algunos autores consideran cuasi endémica (Bowers *et al.* 1973; Bowers 1974; Greenbaum 1978) y otros endémica del país (Ramírez-Pulido y Müdespacher 1987; Castro-Campillo *et al.* 2005). Las poblaciones de esta especie ocurren entre los 2,700 y los 3,600 m o entre los 1,097 y los 4,300 m en zonas templadas y semifrías de bosques mesófilos o de bosques de coníferas con zacatonal y pastizal alpino. También se les ha registrado en los límites de la vegetación nativa con zonas de cultivos; así como en áreas lacustres y rocosas (Castro-Campillo *et al.* 2005). La mayoría de los registros han sido hechos por arriba de los 2,000 m. En el Volcán La Malinche, se encontró por arriba de los 2,700 m, ocupando los bosques de *Pinus*, *Pinus-Quercus*, *Abies*, *Pinus-Abies* con pastos amacollados y pradera de alta montaña. Cabe remarcar que esta especie también estuvo presente en los cultivos introducidos a elevaciones coincidentes con la distribución del bosque de pino, pero no se encontró en los asentamientos humanos que están a menor altura.

Tanto *P. maniculatus* como *P. melanotis*, que se consideran contrapartes morfológicas (Hoffmeister 1986); asimismo, exhiben un elevado grado de tolerancia a la temperatura y a otras variables ambientales y, como consecuencia de esta plasticidad biológica, sus distribuciones abarcan una extensa área geográfica (Hall 1981). Cuando sus distribuciones coinciden, se separan ecológica y altitudinalmente, quedando la primera dentro de pastizales de zonas más bajas y abiertas de la vegetación y la segunda en la zona boscosa y la pradera alpina.

El ratón espinoso con abazones, *Liomys irroratus*, que en el país se encuentra representado por siete subespecies (Ramírez-Pulido *et al.* 2005), se ha registrado entre los 2,350 y 2,850 m, entre el nivel del mar y los 3 o a los 50 m, incluyendo matorral xerófilo y bosque espinoso, pero también pastizales en bosque de coníferas y encinos, cultivos y zonas de pastoreo (Espinosa y Chávez Tapia 2005). En La Malinche, los hábitats originales de la subespecie *L. i. alleni* han sufrido fuertes modificaciones, al ser sustituidos por áreas agrícolas, en donde las poblaciones de éstos heterómidos se encuentran bien representadas; de hecho, la especie se ha

visto beneficiada por la expansión de la agricultura, sobre el bosque de pino en donde también se le encuentra. Se le encontró principalmente en los cultivos, pero también en los asentamientos humanos y en bosque de pino.

Microtus mexicanus, el ratón metorito, tiene nueve subespecies en el territorio nacional (Ramírez-Pulido *et al* 2005), habiendo registros en la literatura entre los 2,580 a 2,900 m, los 3,350 m y entre los 2,220 a 4,115 m. La especie habita en pastizales, bosques de encino, pino-encino, y oyamel, pero también se le ha reportado en ambientes perturbados, campos de golf, cunetas, cultivos de alfalfa y papa (González y Cervantes 2005). En La Malinche se le encontró principalmente en camellones que bordean terrenos de cultivo (de alfalfa, frijol, haba, maíz y papa) cercanos a bosques de coníferas y encinares; también se le recolectó en el interior del bosque y en el pastizal de alta montaña. Los metoritos de esta especie son primariamente herbívoros (Hall 1981) y cuentan con una dentición adaptada para facilitar el consumo de pastos, por lo que se encuentran en casi todo el volcán, ya que hay gran abundancia de ellos.

Las tres especies de ratones dorados del género *Reithrodontomys*, que se encontraron en La Malinche, muestran amplia superposición de su patrón altitudinal (Ramírez-Pulido *et al.* 2005) entre los 1,830 y los 3,200 m. La especie que tiene un intervalo de altitudes más estrecho es *R. sumichrasti*, cuyas cuatro subespecies con distribución en la República (Ramírez-Pulido *et al.* 2005), han sido reportadas a 2,810 m y entre los 800 y 3,300 m, incluyendo pastizales, vegetación arbustiva, bosques de pino-encino, mesófilos, subtropicales con abundancia de helechos y musgo en zonas templadas. Sin embargo, también abunda en bosques fríos y húmedos y a lo largo de corrientes de agua. Además, se les ha capturado en cultivos de maíz, caña de azúcar y mango (Hooper 1952; Ramírez-Pulido *et al.* 2005c). Se le puede encontrar en todos los volcanes y es propia de la región central entre los 2,000 y 3,300 m (Hooper 1952). En La Malinche, sólo se atrapó un ejemplar de la subespecie nominal, *R. s. sumichrasti*, a 2,810 m en cultivos.

Por su parte, el ratón de las cosechas, *R. megalotis*, tiene la distribución altitudinal más amplia (2570-2900 m, 3,350 m y desde el nivel del mar hasta *ca.* de 4,000 m) del género en México y las siete subespecies que habitan en el país (Ramírez-Pulido *et al.*, 2005), ocurren en bosques abiertos de pino-encino y pastizales naturales, así como en claros cubiertos por gramíneas y otras hierbas (Sánchez y Oliva 2005). La subespecie *R. m. saturatus* habita típicamente en pastos, campos de barbecho y áreas agrícolas, siendo uno de los mamíferos más

comunes de estos hábitats (Hooper 1952); este patrón se confirmó en La Malinche. No hay informes de que estos ratones dañen realmente las cosechas; sin embargo, como lo menciona Nowak (1999), la agricultura ha afectado positivamente a *R. megalotis*, permitiendo que al aumentar las zonas de agricultura en el volcán, aumente también su área de distribución. En el volcán se le encontró tanto en cultivos como en el bosque y en el pastizal alpino.

Aunque en menor medida que la especie anterior, las dos subespecies (Ramírez-Pulido *et al.* 2005) del ratón dorado, endémico de los volcanes, *R. chrysopsis*, también muestran amplitud, en el intervalo de altitudes, el cual va de los 3,350 a 3,500 m y de los 1,830 a 4,100 m, incluyendo laderas y cañones con bosque de pino-abeto, pino-encino, zacatonales y zonas cubiertas por helechos, musgos y arbustos (Lira y Gaona 2005). La subespecie nominal, *R. c. chrysopsis*, fue recolectada en La Malinche en las partes altas con bosque de pino y en el pastizal de alta montaña.

A *Neotomodon alstoni* se le conoce comúnmente como el ratón mexicano de los volcanes en el Eje Volcánico Transversal, donde es endémico (Williams *et al.* 1985). Dependiendo del volcán involucrado, sus poblaciones se encuentran entre los 2,700 m y los 2,900 m, los 3,350 y los 3,410 m, o bien, entre los 2,400 y los 4,960 m en pastizales de gramíneas amacolladas (*Muhlenbergia macroura*), bosque de coníferas y encino (Luis *et al.* 2000; Chávez T. 2005). Las especies de roedores registradas a mayores altitudes, son principalmente endémicas de esos hábitats (Sánchez Cordero 2001), como es el caso de *N. alstoni* que es una especie resistente a bajas temperaturas, encontrándose ausente en lugares del límite de su distribución en los que la temperatura es alta. En el Volcán La Malinche, se le encontró en cultivos introducidos en el bosque de pino, en este tipo de vegetación y en el pastizal alpino.

N. mexicana, la rata de campo mexicana, cuenta con 14 a 16 subespecies (Ramírez-Pulido *et al.* 2005; Zarza y Ceballos 2005), de acuerdo con el autor, distribuyéndose a los 3410 m, o bien, desde el nivel del mar hasta los 4,045 m en bosques de pino y encino, en matorral de manzanita y encino arbustivo, en matorrales espinosos y pastizales (Zarza y Ceballos 2005). En las zonas templadas, generalmente se encuentra en las partes altas, o por lo menos más frías, por ser predominantemente un animal de montaña, alcanzando su abundancia más grande en las partes más elevadas de las montañas en el bosque de coníferas. En La Malinche, la subespecie *N. m. torquata* se encontró restringida, junto con *R. c. chrysopsis*, a la pradera de alta montaña, lo cual concuerda con las aseveraciones de Hall (1955) y de Cornely y Baker (1986). A través de su

distribución, esta especie es generalmente saxícola, es decir, que vive entre afloramientos de roca, pendientes y acantilados rocosos (Baker 1956), asociados más a menudo a los tipos abiertos de bosque o vegetación arbustiva, condiciones predominantes en la pradera de alta montaña en el Volcán La Malinche.

10. CONCLUSIONES

Los análisis de distribución de los roedores en La Malinche a lo largo de un gradiente altitudinal apoyan las conclusiones generales, en relación a las variables ambientales. No obstante las características del muestreo y las especies que tenían menos de 3 individuos, uno de los hechos sobresalientes en este estudio fue la alta relación de las especies con las variables ambientales y observar los grupos de especies que se forman de manera regular en todos los análisis realizados.

Este estudio forma parte de un aporte parcial que se hace del conocimiento de los roedores de México, el cual debe seguir creciendo con estudios posteriores. Considero además importante que el número de especies se puede incrementarse para lograr mejores resultados.

Si se consideran en conjunto las distribuciones observadas en los roedores de La Malinche, se reconocen dos conjuntos de especies asociados de manera general con las dos categorías mencionadas de vegetación alpina y alterada, respectivamente. Mientras que en la primera destacan *R. c. chrysopsis*, *N. m. torquata*, *P. melanotis* y *N. alstoni*, porque cohabitan en la pradera de alta montaña y en el bosque nativo; en la vegetación alterada, que originalmente también correspondería a bosques templados, se capturaron a las diez especies restantes, e inclusive al ratón de orejas oscuras y al ratón de los volcanes.

Evidentemente, las modificaciones al hábitat por actividades humanas (v. gr., extracción de leña y cambio de uso de suelo para fines agrícolas), limitan la disponibilidad de hábitat adecuado, sobre todo para las especies de vegetación alpina, pues ocasionan esos cambios en la arquitectura del paisaje y en las condiciones ambientales originales. Si bien, las alteraciones antropogénicas aumentan el área de distribución de las especies que viven en hábitats alterados, también pueden ocasionar problemas a las actividades económicas, especialmente por especies como las tuzas (*C. merriamy* y *T. ubrinus*), ardillas terrestres (*S. mexicanus*) y ratones que se adaptan al entorno humano (*L. irroratus*, *M. mexicanus*, y *P. maniculatus*). A la postre, también

existe el riesgo de que disminuya la diversidad de especies, ya que, por un lado, las tuzas y las ardillas llegan a ser consumidas como alimento en algunas regiones y a las ardillas también se las usa como mascota (com. pers. Dra. Castro Campillo). Por otro lado, también habría que considerar que las especies con mayor capacidad de tolerancia que han expandido su distribución, también pueden encontrar condiciones que favorezcan la competencia entre ellas. Por ejemplo, se ha documentado que la tuza grande, desplaza a la pequeña en donde ambas coexisten (Castro-Campillo y Ramírez Pulido 2000).

Finalmente, cabe mencionar que por ahora no hay datos disponibles para evaluar el posible efecto de la pérdida de la cubierta forestal en detrimento de las especies de áreas boscosas, pero es evidente que se modifica la composición y diversidad de especies de roedores con la expansión de las actividades humanas en el Volcán La Malinche. La pérdida gradual de la vegetación natural puede originar la formación de parches de hábitat y fragmentar así significativamente las poblaciones de roedores. A la postre, la disminución del tamaño de las poblaciones de roedores en esos parches, puede afectar su papel como regeneradoras de la vegetación, mientras que las condiciones del microhábitat pueden ser tan frágiles como para someterlas a presiones suficientemente fuertes para llevarlas a la extinción.

11. Literatura Citada

- Álvarez, T. y F. La Chica. 1974. Zoogeografía de los vertebrados de México. 221-275 pp., in el Escenario Geográfico de México. INAH, México, D. F., 302 pp.
- Arita, H. T., F. Figueroa, A. Frisch, P. Rodríguez, y K. Santos del Orado. 1997. Geographical range size and the conservation of Mexican mammals. *Conservation Biology*, 11: 92-100.
- Austin, M. P., R. B. Cunningham, and P. M. Fleming. 1984. New approaches to direct gradient analysis using environmental scalars and statistical curve-fitting procedures. *Vegetation*, 55: 11-27.
- Baker, R. H. 1956. Mammals of Coahuila, México. Universidad Kansas Publ; Mus. Nat. Hist., 9:125-335.
- Baker, R. H. 1968. Habitats and distribution. Cap. 4., pp. 98-126 in *Biology of Peromyscus (Rodentia)* (J. A. King, ed.) Spec. Publ. No. 2. The American Society of Mammalogists. USA, 594 pp.
- Brown, J. H. y M. V. Lomolino. 1998. Biogeography. Sinauer Associates, Inc., Publ. Sunderland, Massachusetts, USA. 692 pp.
- Brown, J. H., G. C. Stevens, y D. W. Kaufman. 1996. The geographic range: size, shape, boundaries and internal structure. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 27: 597-623.
- Bowers, J. H., R. J. Baker, and M. H. Smith. 1973. Chromosomal, electrophoretic, and breeding studies of selected populations of deer mice (*Peromyscus maniculatus*) and black-eared mice (*P. melanotis*). *Evolution*, 27:378-386.
- Bowers, J. H. 1974. Genetic compatibility of *Peromyscus maniculatus* y *Peromyscus melanotis*, as indicated by breeding studies and morphometrics. *J. Mamm*, 55(4):720-737.
- Castro-Campillo, A., B. A. Silva T. y J. Ramírez-Pulido. 1993. Notas sobre los mamíferos de la Sierra de Santa Catarina, Distrito Federal, México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*. 43: 33-42.
- Castro-Campillo A. y J. Ramírez Pulido. 2000. Systematics of the Smooth-Toothed Pocket Gopher, *Tomomys umbrinus*, in the Mexican Transvolcanic Belt. *American Museum. Novitates*. 3297: 37 pp.
- Castro-Campillo A., M. Martínez-Coronel, U. Aguilera y J. Ramírez Pulido. 2005. *Peromyscus melanotis* (J. A. Allen y Chapman, 1897). Pp. 755-756 in *Los Mamíferos Silvestres de México* (G. Ceballos y G. Oliva, coords.). CONABIO, FCE. Secc. Obras Ciencia y Technol. México, 986 pp.
- Ceballos, G. y G. Oliva (coordinadores). 2005. Los mamíferos silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Fondo de Cultura Económica. 986 pp.

- Chávez T., C. B., 2005. *Neotomodon alstoni* (Merriam, 1898). Pp. 699-701 in Los Mamíferos Silvestres de México (G. Ceballos y G. Oliva, coords.). CONABIO, FCE. Secc. Obras Ciencia y Tecnol. México, 986 pp.
- Chávez Tovar, C. 2005. *Peromyscus levipes* (Merriam, 1899). Pp. 745-746 in Los Mamíferos Silvestres de México (G. Ceballos y G. Oliva, coords.). CONABIO, FCE. Secc. Obras Ciencia y Tecnol. México, 986 pp.
- Chávez Tovar, C. y G. Ceballos. 2005. *Peromyscus difficilis* (J. A. Allen, 1891). Pp. 729-730 in Los Mamíferos Silvestres de México (G. Ceballos y G. Oliva, coords.). CONABIO, FCE. Secc. Obras Ciencia y Tecnol. México, 986 pp.
- Cornely, J. E., and R. J. Baker. 1986. *Neotoma mexicana*. Mammalian Species, 262:1-7.
- Cox, C. B. and P. D. Moore. 1989. Biogeography. An Ecological and Evolutionary Approach. Blackwell Scientific Publications. London, United Kingdom. 244 pp.
- Dobzhansky, T. 1950. Evolution in the tropics. American Scientist, 38: 209-221.
- Ern, H. 1972. Estudio de la vegetación en la parte oriental del México Central. Comunicaciones. Fundación Alemana para la Investigación Científica, México.
- Espinosa, L. A. y C. Chávez Tapia. 2005. *Liomys irroratus* (Gray, 1868). Pp. 628-629 in Los Mamíferos Silvestres de México (G. Ceballos y G. Oliva, coords.). CONABIO, FCE. Secc. Obras Ciencia y Tecnol. México, 988 pp.
- García M., E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. México, DF. 150 pp.
- García Enriqueta. 1990, "Climas", 1:4000 000, IV.4.10. (A) Atlas Nacional de México. Vol. II. Instituto de Geografía, UNAM. México
- Gaston, K. J. 1996. Species range size distributions: patterns, mechanisms and implications. Trends in Ecology and Evolution, 11, 197-201.
- González, R. M. y F. A. Cervantes. 2005. *Microtus mexicanus* (Saussure, 1861). Pp. 659-660 in Los Mamíferos Silvestres de México (G. Ceballos y G. Oliva, coords.). CONABIO, FCE. Secc. Obras Ciencia y Tecnol. México, 986 pp.
- Greenbaum, I. F; R. J. Baker and J. H. Bowers. 1978. Chromosomal homology and divergence between sibling species of deer mice *Peromyscus maniculatus* y *Peromyscus melanotis* (Rodentia, Cricetidae). Evolution. 32(2): 334-341.
- Hall, E. R. 1981. The Mammals of North America. Vol. 2. John Wiley Sons, New York. 547-804.
- Hall, E. R. 1955. A new subspecies of wood rat from Nayarit, Mexico, with new name combinations for the *Neotoma mexicana* group. Journal of the Washington Academy of Sciences, 45:328-332.

- Heine, K. 1973. Variaciones más importantes del clima durante los últimos 40 000 años en México. *Comunicaciones*, 7:51-56.
- Hernández, F. M. 2001. Bioclimatic discriminant capacity of terrestrial mammal faunas. *Global Ecology and Biogeography*, 10: 189–204.
- Hernández Meza, B. y G. Oliva. 2005. *Cratogeomys merriami* (Thomas, 1893). Pp. 590-591 in *Los Mamíferos Silvestres de México* (G. Ceballos y G. Oliva, coords.). CONABIO, FCE. Secc. Obras Ciencia y Tecnol. México, 986 pp.
- Hoffmeister, D. F. 1986. *Mammals of Arizona*. University of Arizona Press, Tucson., 602 pp.
- Hooper, E. T. 1952. A systematic review of the Harvest mice (genus *Reithodontomys*) of Latin America. *Miscellaneous Publications, Museum of Zoology, University of Michigan*, 77:1-255.
- Hutchinson, G. E. 1981. *Introducción a La Ecología de Poblaciones*. Barcelona: Blume.
- Illoldi Rangel, P., M. A. Linaje y V. Sánchez-Cordero. 2002. Distribución de los mamíferos terrestres del Golfo de California, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 73(2): 213-224.
- Lira, I. E. y S. Gaona. 2005. *Reithodontomys chrysopsis* (Merriam, 1900). P. 780 in *Los Mamíferos Silvestres de México* (G. Ceballos y G. Oliva, coords.). CONABIO, FCE. Secc. Obras Ciencia y Tecnol. México, 986 pp.
- Lobo, J. M. 2000. Species diversity and composition of dung beetle (Coleoptera: Scarabaeoidea) assemblages in North America. *Canadian Entomology*, 132:307–21
- Lomolino, M. 2001. Elevation gradients of species density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography*, 10: 3–13.
- López-González, C. 2004. Ecological zoogeography of the bats of Paraguay. *Journal of Biogeography*, 31: 33-45.
- López-Ramos, E. 1979. *Geología de México*. 2ª ed. Tm. II. Edición escolar. México, D. F. 446 pp.
- Luis, J., A. Carmona, J. Delgado, F. Cervantes y R. Cárdenas. 2000. Parental behavior of the Volcano Mouse, *Neotomodon alstoni* (Rodentia: Muridae), in captivity. *Journal of Mammalogy*, 81(2): 600-605.
- Miller, R.I. 1994. *Mapping the Diversity of Nature*. Chapman and Hall, London. 11-15.
- Morales Pérez, L. e I. Castro Arellano. 2005. *Thomomys umbrinus* (Richardson, 1829) Pp. 608-609 in *Los Mamíferos Silvestres de México* (G. Ceballos y G. Oliva, coords.). CONABIO, FCE. Secc. Obras Ciencia y Tecnol. México, 986 pp.
- Nowak, R. 1999. *Walker's Mammals of the World*. 6 ed. Baltimore and London: The Johns Hopkins University Press.

- Okland, R. H. 1992. Studies in SE Fennoscandian mires: relevance to ecological theory. *Journal of Vegetation Science*, 3: 279-284.
- Ortiz B. y A. Ortiz. 1990. Edafología, 7ª edición Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, Chapingo, México. Basado en el sistema FAO/UNESCO (1970).
- Pardiñas Ulyses F. J., Agustín M. Abba Y Merino Mariano L. 2004. Micromamíferos (Didelphimorphia Y Rodentia) Del sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina): Taxonomía Y Distribución. *Mastozoología Neotropical*, 11(2):211-232.
- Ramírez P., J. & C. Müdspacher. 1987. Estado actual y perspectivas del conocimiento de los mamíferos de México. *Ciencia* 38:49-67.
- Ramírez-Pulido, J., J. Arroyo-Cabrales y A. Castro-Campillo. 2005. Estado Actual y Relación Nomenclatural de los Mamíferos Terrestres de México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 21(1): 21-82.
- Ramírez-Pulido, J., A. Castro-Campillo y A. Salame-Méndez. 2005. Relación de algunas especies del género *Reithrodontomys* (Rodentia: Muridae) en la Colección de Mamíferos de la UAMI. Pp. 399-422 in: *Contribuciones mastozoológicas en Homenaje a Bernardo Villa* (V. Sánchez-Cordero y R. A. Medellín, Eds.). Instituto de Biología, UNAM; Instituto de Ecología, UNAM; CONABIO, México, 706 pp.
- Ramírez-Pulido, J., A. Castro-Campillo, J. Arroyo-Cabrales y F. A. Cervantes. 1996. Lista taxonómica de los mamíferos terrestres de México: A taxonomic list of the terrestrial mammals of Mexico. *Occasional Papers. The Museum, Texas Tech University*, 158: 1-62.
- Ramírez-Pulido, J., S. Gaona, C. Müdspacher Z. y A. Castro-Campillo. 1989. Manejo y Mantenimiento de Colecciones Mastozoológicas. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D. F. 11-22.
- Ramírez-Pulido, R. Quijano Pérez y A. Castro-Campillo. 2005. *Reithrodontomys sumichrasti* (Saussure, 1861). Pp. 789-790 in *Los Mamíferos Silvestres de México* (G. Ceballos y G. Oliva, coords.). CONABIO, FCE. Secc. Obras Ciencia y Tecnol. México, 986 pp.
- Ramírez-Pulido, J. A. Sánchez, U. Aguilera y A. Castro-Campillo. 2005. *Peromyscus maniculatus* (Wagner, 1845). Pp. 748-750 in *Los Mamíferos Silvestres de México* (G. Ceballos y G. Oliva, coords.). CONABIO, FCE. Secc. Obras Ciencia y Tecnol. México, 986 pp.
- Root, T. 1988. Energy constraints on avian distributions and abundances. *Ecology*, 69: 330-339
- Root, T. 1988. Environmental factors associated whit avian distributional boundaries. *Journal of Biogeography*, 15: 489-505.
- Rzedowski, J. 1978. *La vegetación de México*. LIMUSA, México, D. F.

- Sánchez O. y G. Oliva. 2005. *Reithrodontomys megalotis* (Baird 1858). Pp. 784-785 in: Los mamíferos silvestres de México. (G. Ceballos y G. Oliva coords). CONABIO y FCE. Secc. Obras Ciencia y Tecnol. México, 986 pp.
- Sánchez-Cordero, V. 2001. Elevational gradients of diversity for bats and rodents in Oaxaca, Mexico. *Global Ecology and Biogeography*, 10:63-76.
- Sánchez-Cordero, V., A. T. Peterson y P. Pliego-Escalante. 2001. Modelado de la distribución de especies y conservación de la diversidad biológica. Pp. 359-379 in: Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad (H. M. Hernández, A. N. García Aldrete, F. Álvarez y M. Ulloa, comps.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. México, D. F.
- Sans-Fuentes, M. A. y J. Ventura. 2000. Distribution Patterns of the small mammals (Insectivora and Rodentia) in a transitional zone between the Eurosiberian and the Mediterranean Regions. *Journal of Biogeography*, 27(3): 755-764.
- SARH. 1993. Diagnóstico del Parque Nacional Malinche o Matlacueyatl, Tlaxcala. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. Pausa. Noviembre. 39 páginas, más cinco anexos: florístico, faunístico, jurídico y cartográfico (18 páginas).
- Scott, J. M., T. H. Tear, y F. W. Davis. 1996. GAP Analysis: A landscape approach to biodiversity planning. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland. 320 pp.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. 1981. Síntesis Geográfica de Tlaxcala. México, D. F.
- Smith, L. R. y M. T. Smith. 2001. Ecología. 4ª ed. Editorial Pearson, Madrid. 639 pp.
- Valdés Alarcón. M. 2005. *Spermophilus mexicanus* (Erxleben, 1777). Pp. 566-567 in Los Mamíferos Silvestres de México (G. Ceballos y G. Oliva, coords.). CONABIO, FCE. Secc. Obras Ciencia y Tecnol. México, 986 pp.
- Vargas-Contreras J. A. Y A. Hernández-Huerta. 2001. Distribución Altitudinal de la Mastofauna en la Reserva de la Biosfera "El Cielo", Tamaulipas, México. *Acta Zool. Mex.* (n.s.) 82: 83-109.
- Vargas Márquez, F. 1984. Parques Nacionales de México y Reservas Equivalentes. Pasado, presente y futuro. Colección: Los Grandes Problemas Nacionales. Serie: Los Bosques de México. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM. México, D. F.
- Williams, S. L., Ramírez--Pulido, J., y Baker, R.J. 1985. *Peromyscus alstoni*. *Mammalian Species*. 242: 1-4
- Wohlgemuth, T. 1998. Modelling floristic species richness on a regional scale: a case study in Switzerland. *Biodiversity and Conservation*, 7: 159-177.
- Young, C. J. and J.K. Jones Jr. 1982. *Spermophilus mexicanus*. *Mammalian Species* 164:1-4.

Zarza, H. y G. Ceballos. 2005. *Neotoma mexicana* (Baird, 1855). Pp. 693-695 in Los Mamíferos Silvestres de México (G. Ceballos y G. Oliva, coords.). CONABIO, FCE. Secc. Obras Ciencia y Tecnol. México, 986 pp.

Zavala-Hurtado, J. A., P. L. Valverde, A. Díaz-Solís, F. Vite y E. Portilla. 1996. Vegetation-environmental relationships base don a life-form classification in a semiarid region of Tropical Mexico. *Revista de Biología Tropical*; 44(2): 581-590.