



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

USO DIFERENCIAL DEL ESPACIO ENTRE SEXOS Y
DINÁMICA POBLACIONAL DE *Neotomodon alstoni*
(RODENTIA: MURIDAE) EN EL CERRO DEL AJUSCO, MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

P R E S E N T A

MELANY AGUILAR LÓPEZ

ASESOR: Dr. ALBERTO E. ROJAS MARTÍNEZ

PACHUCA DE SOTO, HGO.

Enero 2007

DEDICATORIA

Esta tesis esta dedicada a mis padres Maria Guadalupe y Miguel Ángel (mayita y payito) quienes siempre me han apoyado en las buenas y en las malas, por enseñarme que cuando se quiere algo de verdad se tiene que luchar y algunas veces hacer sacrificios para poder alcanzarlo. Les agradezco por darme valores y formarme como persona, pero sobre todo por darme la vida.

También a mis dos hermanos: Quetzali (quetas) y Miguel Ángel (miguelancho), los dos siempre me han apoyado incondicionalmente, gracias por sus consejos, por sus regaños, pero en especial por estar conmigo.

Gracias por su amor, los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis el Dr. Alberto E. Rojas Martínez, quien ha sido mi mejor maestro, gracias por su ayuda, comentarios y su constante estímulo, también a su esposa Olivia y a toda su familia por brindarme todo el apoyo y su casa en México para poder conocer mi área de estudio.

A mis sinodales, al M. en C. Jesús Castillo Cerón, al Dr. Aurelio Ramírez Bautista, al Dr. Raúl Ortiz pulido, al Dr. Ignacio Castellanos Sturemark, a la Dra. Iriana Zuria Jordan, al M en C. Miguel Ángel Cabral Perdomo y al Dr. Alberto E. Rojas Martínez, por sus observaciones y comentarios que hicieron que esta tesis fuera mejor, pero que además me han ayudado enormemente en mi formación académica.

A todas las personas que colaboraron con el Dr. Alberto E. Rojas Martínez y Olivia Noguera Cobos en el trabajo de campo.

Al Biol. Ulises Iturbe Acosta, coordinador adjunto de la Lic. en Biología, por sus consejos que me ayudaron a lo largo de la carrera.

A toda mi familia quienes siempre me han apoyado, por no permitirme que me diera por vencida a pesar de todas las dificultades, por todo su cariño que me ha motivado a superarme y ser mejor cada día.

A todos mis compañeros de la quinta generación de biología: Clau, Aaroncito, Pablito, Ari, Jessy, Sergio, Efra, Rafa, Claudia, Karinita, Sonia, Caren, Chanes, Lalito, porque vivimos momentos inolvidables, conocerlos fue lo mejor.

A mis compañeros de laboratorio: Sergio (quien me acompañó a la única salida de campo y revisó también esta tesis), Cristian, Paty Rodríguez, Jorgito, Gabriel, Paty Milo, Víctor, por hacer más ameno los momentos en el laboratorio.

Quiero agradecer en especial a mis amiguitos: Clau, Ari y Aaroncito con quienes he compartido mucho, esas platicas de horas, sonriendo, llorando, de todo un poco, pero siempre apoyándonos en las buenas y en las malas.

Y finalmente un agradecimiento a dos personitas muy especiales que entraron a mi vida en el momento indicado y que me han ayudado mucho, a los dos muchas gracias.

La realización de esta tesis fue posible gracias al apoyo parcial del proyecto PIFI-PROMEP de Cuerpos Académicos 2006, Clave UAEH-CA-6 y a la infraestructura con la que cuenta el Laboratorio de Ecología de Poblaciones y en general el Cuerpo Académico de Ecología, del Centro de Investigaciones Biológicas de la UAEH.

ÍNDICE

Resumen	1
1. Introducción	2
2. Antecedentes	5
3. Objetivos	15
4. Área de Estudio	16
4.1 Localización.....	16
4.2 Orografía.....	18
4.3 Clima.....	18
4.4 Vegetación.....	19
5. Método	24
5.1 Dinámica poblacional.....	26
5.1.1 Determinación del la densidad poblacional.....	26
5.1.2 Estructura poblacional por edades.....	27
5.1.3 Proporción de sexos.....	28
Proporción sexual total.....	28
Proporción sexual por edades.....	28
5.1.4 Actividad reproductiva.....	28
5.2 Uso del espacio y área de actividad.....	29
5.2.1 Determinación del uso del espacio	29
Asociación entre sexos.....	30
Preferencia de microhábitat.....	31
5.2.2 Determinación del área de actividad.....	31
6. Resultados	33
6.1 Dinámica poblacional.....	33
6.2 Uso del espacio y área de actividad.....	42
7. Discusión	49
8. Conclusiones	62
Literatura citada	64

Índice de Figuras

Figura 1	<i>Neotomodon alstoni</i> (ratón de los volcanes) colectado en el Cerro del Ajusco, 1984.....	8
Figura 2.	<i>Neotomodon alstoni</i> capturado en el Cerro del Ajusco en el 2006.....	8
Figura 3	Zona de zacatonales, considerado como el hábitat óptimo de <i>Neotomodon alstoni</i> (a), zacatón <i>Muhlenbergia macroura</i> (b).....	9
Figura 4	Distribución geográfica de <i>Neotomodon alstoni</i>	11
Figura 5	Ubicación del área de estudio.....	16
Figura 6	Vista panorámica del Parque Nacional “Cumbres del Ajusco”, D. F., México.....	17
Figura 7	Representación gráfica del área que ocupan los cinco microhábitats en que habita <i>Neotomodon alstoni</i> en el área de trabajo.....	23
Figura 8	Sistema de coordenadas de la red de trampas utilizadas en este trabajo y ejemplo de la forma en que se colocaron las trampas tipo Sherman en cada vértice.....	25
Figura 9	Representación gráfica del método de área límite ampliada.....	32
Figura 10	Número de veces que fueron capturados los individuos de <i>Neotomodon alstoni</i> en total y por sexo.....	33
Figura 11	Fluctuación de la densidad poblacional de <i>Neotomodon alstoni</i> a lo largo del estudio.....	35
Figura 12	Variación de la densidad poblacional de machos y hembras de <i>Neotomodon alstoni</i> , obtenidas por medio de las capturas reales durante el estudio.....	35
Figura 13	Estructura de edades de <i>Neotomodon alstoni</i> a lo largo del estudio.....	38
Figura 14	Número estimado de juveniles comparado con el número real de adultos capturados de <i>Neotomodon alstoni</i>	39
Figura 15	Proporción de hembras y machos de <i>Neotomodon alstoni</i> observado a lo largo del periodo de estudio en el Cerro del Ajusco.....	39
Figura 16	Número de machos y hembras juveniles de <i>Neotomodon alstoni</i> capturados durante cada periodo de captura.....	40

Figura 17 Actividad reproductiva de adultos de <i>Neotomodon alstoni</i> a lo largo del estudio.....	41
Figura 18 Actividad reproductiva de hembras y machos de <i>Neotomodon alstoni</i> durante los ocho periodos de muestreo.....	42
Figura 19 Preferencia de microhábitat que muestran en conjunto los adultos de la población, así como las hembras y los machos adultos de <i>Neotomodon alstoni</i> en el área de estudio.....	45
Figura 20 Áreas de actividad de diez hembras de <i>Neotomodon alstoni</i> en el Cerro del Ajusco.....	47
Figura 21 Áreas de actividad de siete machos de <i>Neotomodon alstoni</i> en el Cerro del Ajusco.....	48

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Tamaño de la población de <i>Neotomodon alstoni</i> y algunos parámetros poblacionales por cada periodo de muestreo.....	36
Cuadro 2 Número de individuos marcados y recapturados durante todo el estudio.....	36
Cuadro 3 Estimación de la densidad, supervivencia, entradas (nacimientos e inmigración), pérdidas (mortalidad y emigración) y marcas en riesgo.....	37
Cuadro 4 Valores del coeficiente de dispersión (CD) obtenidos para la población de <i>Neotomodon alstoni</i> , por sexo y condición reproductiva, además se muestra el valor del CD menos un error estándar (EE).....	43
Cuadro 5 Tabla de contingencia con los valores observados y esperados en los sitios de captura de individuos de <i>Neotomodon alstoni</i> por sexos, así como el valor de χ^2 obtenido.....	44
Cuadro 6 Áreas de actividad (AA) de diecisiete individuos residentes de <i>Neotomodon alstoni</i> , indicando el sexo, el número de marca, el número de recapturas, y el promedio del AA para hembras y machos.....	46

RESUMEN

Neotomodon alstoni es un ratón endémico al Eje Neovolcánico de México y es conocido comúnmente como ratón de los volcanes. Esta especie puede considerarse bien estudiada pero aún es necesario conocer aspectos sobre su organización espacial que son reflejo del comportamiento social y de las condiciones ambientales. El objetivo de este trabajo fue aportar información sobre la densidad poblacional, determinando si existe relación con el uso del espacio y el área de actividad entre hembras y machos, para explicar las interacciones entre sexos y sus posibles consecuencias poblacionales. Se realizaron nueve colectas mensuales en el Cerro del Ajusco de junio de 1986 a julio de 1987 con un total de 4320 trampas/noche. La densidad (ind/ha) se determinó utilizando el número de las capturas reales y por el método de captura-recaptura de Fisher-Ford. Para el uso del espacio se usó la distribución de Poisson y la razón varianza/promedio, además se calculó el grado de asociación y se determinó la preferencia de microhábitat entre los sexos. El área de actividad se determinó por el método de área límite ampliada. Se registraron un total de 183 capturas, 25 juveniles y 158 adultos. La proporción de sexos fue de 1:1. La mayor actividad reproductiva se observó en primavera-verano, aunque se registraron individuos activos durante todo el estudio. La densidad poblacional fluctuó entre 22 y 62 individuos en 1.2 ha (43 individuos en promedio) según el método de Fisher y Ford. El uso del espacio para la población y entre sexos fue de tipo agregado, asimismo, los machos y las hembras presentaron una asociación positiva. En cuanto a preferencia de hábitat, los adultos en general se encontraron más en la pradera y el zacatonal, pero hubo diferencias significativas entre los sexos, las hembras fueron más abundantes en el zacatonal, mientras que los machos en el bosque-pradera. El área de actividad en promedio fue mayor en los machos que en las hembras. Las diferencias observadas en el uso del espacio y área de actividad entre sexos se pueden atribuir a los distintos requerimientos e interacciones entre los sexos. El uso diferencial del hábitat entre los sexos, que puede explicarse por los diferentes requerimientos energéticos durante la reproducción, no sólo trae beneficios para los individuos, sino en general para la población porque aumenta el éxito reproductivo y la supervivencia, asegurando así la permanencia de la especie en el ambiente. La densidad poblacional tradicionalmente se explica por la abundancia de recursos en el ambiente, en este trabajo se presenta evidencia de que la densidad poblacional es además una consecuencia de las interacciones intraespecíficas.

1. INTRODUCCIÓN

La Ecología es “el estudio científico de las interacciones que regulan la distribución y la abundancia de los organismos” (Krebs, 1985), de acuerdo con la definición anterior, explicar donde pueden vivir, cuantos son y por que están presentes los organismos en su ambiente es una parte fundamental de la Ecología.

La respuesta a las preguntas anteriores requiere un enfoque poblacional importante, debido a que en este nivel las interacciones entre los individuos de la misma especie se manifiestan con mayor claridad. Las poblaciones tienen dos atributos muy importantes: la densidad y el uso del espacio. La densidad, que es el número de individuos por unidad de área, afecta la probabilidad de que los individuos en un ambiente finito, tengan acceso a un espacio para vivir, alimentarse, refugiarse y buscar pareja. Por lo tanto, la disposición espacial de los organismos en su ambiente (distribución: uniforme, aleatoria o agregada) es en gran medida consecuencia de la densidad local y del ambiente heterogéneo, puesto que no todo el espacio representa un hábitat adecuado. La necesidad de contar con un espacio apropiado para satisfacer las necesidades de supervivencia de cada individuo, genera que surjan diferentes interacciones competitivas entre los miembros de una población, mismas que tienden a regular su tamaño (Smith y Smith, 2000). Esta regulación de la población es un comportamiento que se explica porque los individuos de una misma especie tienen requerimientos muy similares para sobrevivir, desarrollarse y reproducirse (Begon *et al.*, 1996).

La intensidad de la competencia es dependiente de la densidad, cuando aumenta la densidad dentro de una población la competencia entre sus miembros por los recursos disponibles también aumenta. Cuando los recursos son reducidos y la distribución de los mismos es desigual se puede incrementar la mortalidad y/o disminuir la fecundidad. Como resultado, el crecimiento poblacional disminuye con el incremento de la densidad, alcanzando

con el tiempo un nivel en el cual el crecimiento poblacional cesa, este nivel se conoce con el nombre de capacidad de carga o K (Begon *et al.*, 1996; Smith y Smith, 2000).

La distribución de los recursos y las interacciones entre los individuos determina la organización social y espacial en una población y frecuentemente se refleja en la división del espacio que comparten los individuos y que asegura la disponibilidad de recursos para cada uno de ellos, permitiendo que mantengan una relación estable en su ambiente (Smith, 1980).

Entre machos y hembras ocurre un conflicto fundamental de intereses en cuanto a los recursos alimenticios, los sucesos reproductivos y el costo energético que implica la reproducción. La división intraespecífica de los recursos entre machos y hembras ha sido observada en diversos grupos de mamíferos, incluyendo a los roedores (Litvaitis, 1990). El alimento y el hábitat son algunos de los recursos que pueden ser usados de diferente manera por los sexos (Litvaitis, 1990). La división puede resultar en la separación de los sitios de forrajeo entre sexos o en el forrajeo diferencial en un mismo hábitat. En el caso de los eventos reproductivos Trivers (1972) propuso que la competencia sexual ocurre cuando uno de los sexos invierte mucha más energía que el otro en la reproducción, una situación que puede no ser típica para todas las especies. En el caso de los machos, cuando están asegurados los alimentos, el conflicto se produce porque las hembras representan un recurso limitante para que los machos se reproduzcan con éxito. Por lo cual los machos establecen sus áreas de actividad asociados con la distribución espacial de las hembras y pueden competir entre ellos para aparearse. En contraste las hembras de los ratones silvestres, requieren de espacios en ambientes de alta calidad para poder satisfacer sus necesidades energéticas, debido a que sus requerimientos son mayores durante la gestación y la lactancia (Millar, 1975; Vázquez *et al.*, 1999-2000). Por lo tanto el tamaño y la distribución de las áreas de actividad de los machos y de las hembras son componentes importantes de los sistemas sociales y de apareamiento en los mamíferos y

establecen un límite en el número de individuos de la especie por unidad de área. Por consiguiente la distribución espacial de los individuos, es consecuencia de las interacciones intraespecíficas y parte importante de la organización social y de los sistemas de apareamiento, que se reflejan en la densidad de la población (Quintero y Sánchez-Cordero, 1989; Ribble y Stanley, 1998; Bond y Wolf, 1999; Hernández-Betancourt *et al.*, 2003)

El conocimiento de las interacciones intraespecíficas así como el estudio de los patrones de uso del espacio en animales es relevante, debido a su influencia sobre la organización espacial de los organismos y en la dinámica poblacional (cambios en la densidad poblacional y fluctuaciones poblacionales), que son componentes importantes en la conservación de las especies (Bowers y Duane-Smith, 1979; Farias *et al.*, 2006; Schooley y Branch, 2006).

Es importante resaltar que estudios realizados de *Neotomodon alstoni* sobre el uso diferencial del espacio y el área de actividad entre sexos es un tema inconcluso, no sólo en esta especie sino en general entre los mamíferos, a pesar de las implicaciones ecológicas que tienen y que pueden mejorar la conservación de las poblaciones silvestres de este roedor endémico del Eje Neovolcánico. Además, sobre este ratón existen algunos trabajos publicados de su ecología realizados en la misma localidad, por lo que la continuidad de su estudio permite aportar información a largo plazo sobre el comportamiento poblacional y reproductivo de la especie, así como de los factores ecológicos que controlan a su población.

Este trabajo aporta información sobre la densidad poblacional de este ratón en el Ajusco, determinando si existen diferencias en el uso del espacio y en el área de actividad entre hembras y machos, con la finalidad de explicar algunas interacciones que se generan entre los sexos y sus posibles consecuencias poblacionales.

2. ANTECEDENTES

Uso del ambiente: relaciones espaciales y patrones de dispersión.

Tipos de organización de los individuos en el espacio. El movimiento de los organismos y la presencia de otros individuos de la misma especie afectan la ubicación de los mismos en el espacio habitable, por lo tanto, la posición de los individuos puede ser descrita en términos de sus relaciones espaciales con otros individuos. Si la presencia de un individuo no influye positiva o negativamente en la presencia de otro en el mismo lugar (es independiente), los organismos se disponen en el ambiente de manera azarosa. En la distribución regular o uniforme cada individuo tiende a evitar a otros, esto resulta de la competencia intraespecífica entre los miembros de una población, debido a que el ambiente tiene la misma calidad. La distribución agregada resulta de las diferencias en la calidad del hábitat, de las conductas sociales positivas y de la agregación reproductiva, lo que provoca que los individuos se concentren en grupos, lo cual resulta ser la forma de distribución más común en la naturaleza (Brows y Orians, 1970; Smith 1980; Begon *et al.*, 1996). Es importante resaltar que la distribución que muestra un grupo de organismos dependerá de la escala espacial en que se estudian, por ejemplo, considerando la distribución de los organismos asociados a un hábitat característico, si se muestrea sólo dentro del hábitat la distribución que presenta podrá parecer de tipo azarosa, pero si el área de muestreo es mayor e incluye una gran variedad de hábitats la distribución que muestre será de tipo agregada (Begon *et al.*, 1996).

El término *dispersión* es usado generalmente para referirse a la reubicación de los organismos en un espacio y en un tiempo determinado. La dispersión de los animales resulta de la búsqueda de nuevos espacios para vivir, en este periodo los individuos evalúan las características del ambiente y la presencia o ausencia de otros individuos de la misma o de diferente especie (Brows y Orians, 1970).

Este fenómeno es intenso en los mamíferos cuando el periodo reproductivo ha terminado y los preadultos son obligados a abandonar los lugares donde nacieron. En este periodo se establecen interacciones negativas entre adultos y preadultos que los obligan a buscar sitios deshabitados, pero apropiados para vivir (Vaughan *et al.*, 2000).

Importancia del estudio del área de actividad

El ámbito hogareño o el área de actividad (AA) se define como el espacio donde un individuo desarrolla sus actividades cotidianas, tales como: forrajeo, reproducción y cuidado de las crías, incluyendo conductas de exploración y de contacto (Burt, 1943).

El tamaño del AA difiere entre especies, también puede variar dentro de una misma especie y puede cambiar a lo largo de la vida de un animal. Las dimensiones del AA están determinadas por los requerimientos energéticos de cada especie, es decir, pueden estar afectados por el tamaño corporal, la calidad del hábitat, la distribución y la abundancia del alimento, la densidad poblacional, el sexo, la edad, la condición social y la actividad reproductiva, entre otros factores (Quintero y Sánchez-Cordero, 1989; Erlinge *et al.*, 1990; Corbalán y Ojeda, 2005).

El AA es un espacio que no es defendido, por lo tanto, en altas densidades los individuos responden restringiendo su área de acción o aumentando la superposición espacial con individuos de la misma especie o de otras (Gentile *et al.*, 1997; Ribble y Stanley, 1998). Si bien las especies o los individuos más agresivos (dominantes) tienden a excluir a las especies o individuos subordinados, resultando en una baja superposición de las AA (O'Farrell, 1980; Smith y Smith, 2000).

El sexo puede influir en el tamaño del AA, por ejemplo, durante la gestación y la lactancia las hembras seleccionan las AA en respuesta a la mejor calidad de los recursos. Por otra parte la

localización y el tamaño de las AA de las hembras reproductivas determinan las estrategias de apareamiento que siguen los machos. Por ejemplo Clutton-Brock (1989) revisó los sistemas de apareamiento de los mamíferos y encontró que en cerca del 60% de las especies, los machos defienden territorios que abarcan una o más AA de hembras. Cuando las AA de los machos son más grandes que las de las hembras, o cuando las AA de las hembras están agregadas cerca de los recursos, los machos tienen ventaja por tener acceso a varias hembras, y son frecuentemente polígamos. En contraste, la monogamia es frecuente cuando las AA de las hembras son más grandes que las de los machos, lo anterior ocurre en algunas especies de murciélagos y roedores (Vaughan *et al.*, 2000).

Por lo tanto, el tamaño y la distribución de las AA son importantes en los sistemas sociales y de apareamiento, porque son el resultado de las interacciones intraespecíficas y son afectadas por la densidad poblacional y la calidad del hábitat.

Aspectos generales de *Neotomodon alstoni*

- *Descripción*

Es un roedor endémico al Eje Neovolcánico, que pertenece a la subfamilia Cricetinae de la Familia Muridae, se le conoce comúnmente como ratón de los volcanes. Son ratones con orejas grandes casi desprovistas de pelo, con un pelaje largo denso y suave (Figura 1 y 2). Muchas veces ha sido incluido en el género *Peromyscus* por su similitud, sin embargo, se puede diferenciar por su mayor tamaño, su cola bicolor relativamente corta (menor que la cabeza y el cuerpo). La coloración del dorso es gris oscuro, hacia los lados del cuerpo presenta dominancia de color amarillo ocráceo y vientre blanco. La mayoría de los ejemplares tienen una pequeña mancha pectoral de color amarillo (Aranda *et al.*, 1980; Ceballos y Galindo, 1984; Chávez, 2005).

Sus medidas externas promedio son las siguientes: Longitud total: 204.4 mm (174-233), Cola: 90.7 mm (78-105), Pata: 25.6 mm (23-27) y Oreja: 21.1mm (19-23). Peso: 40 a 60 gr. La fórmula dental es $i\ 1/1$, $c\ 0/0$, $p\ 0/0$ y $m\ 3/3$ (Ceballos y Galindo, 1984; Williams *et al.*, 1985).



Figura 1. *Neotomodon alstoni* (ratón de los volcanes) colectado en el Cerro del Ajusco, 1984.

Foto Alberto E. Rojas-Martínez.



Figura 2. *Neotomodon alstoni* capturado en el Cerro del Ajusco en el 2006. Foto Melany Aguilar-López

- *Hábitat*

Son característicos de las altas montañas del Eje Neovolcánico, donde se les encuentra en bosques de pino-encino, pino-oyamel y de pino, principalmente en el sotobosque donde hay una cubierta densa de zacatonos (Figura 3; Williams *et al.*, 1985; Chávez, 2005).

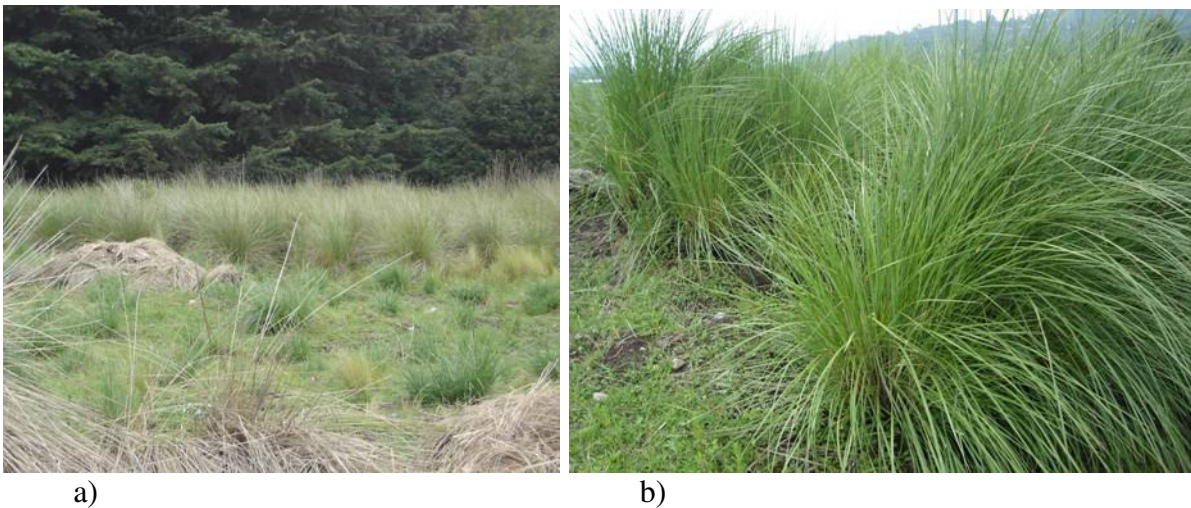


Figura 3. Zona de zacatonales, considerado como el hábitat óptimo de *Neotomodon alstoni* (a), zacatón *Muhlenbergia macroura* (b). Fotos Melany Aguilar-López.

- *Hábitos*

Son activos durante la noche, pero la mayor actividad ocurre antes de la medianoche (Ceballos y Galindo, 1984).

- *Fauna asociada*

Entre los mamíferos que se encuentran en el Ajusco se pueden mencionar algunos roedores que coexisten con *N. alstoni*, tales como *Peromyscus melanotis*, *P. maniculatus*, *Microtus mexicanus*, *Reithrodontomys megalotis* y *Sigmodon leucotis*, algunos insectívoros como *Sorex saussurei* y *Cryptotis alticola*, y lagomorfos como *Romerolagus diazi*, *Sylvilagus cunicularius* y *S. floridanus* (Ceballos y Galindo, 1984; Williams *et al.*, 1985).

- *Alimentación*

Son ratones que se alimentan de tallos, brotes tiernos, hojas de varias hierbas, hongos, artrópodos y lagartijas (Aranda *et al.*, 1980; Álvarez y Mayo-Aceves, 1993).

- *Reproducción*

La época de reproducción ocurre entre junio y septiembre. Sin embargo se ha reportado que en algunos años la época reproductiva puede empezar a finales de mayo y terminar a finales de noviembre. El tamaño de la camada varía de 2 a 5 crías (3 en promedio; Estrada, 1978). El periodo de gestación es de 25 a 35 días y la lactancia de 20 a 30 días (Martín y Ticúl-Álvarez, 1982). Durante la reproducción los testículos escrotados de los machos llegan a medir de 10 a 18 mm de largo y 7 mm de ancho. Las hembras pueden tener dos o tres camadas anualmente y los jóvenes de las primeras camadas pueden madurar sexualmente y reproducirse al final de la temporada reproductiva (Davis y Follansbee, 1945; Williams *et al.*, 1985).

- *Distribución*

Se trata de un roedor endémico a México, que habita sólo en el Eje Neovolcánico Transversal (Figura 4), con un rango altitudinal reportado de 2,400 a 4,960 msnm. Se ha registrado en el norte de Michoacán, en el Estado de México, en el Distrito Federal, al norte de Morelos, en Tlaxcala, en la parte centro de Puebla y al oeste de Veracruz (Ceballos y Galindo, 1984; Williams *et al.*, 1985; Chávez, 2005).

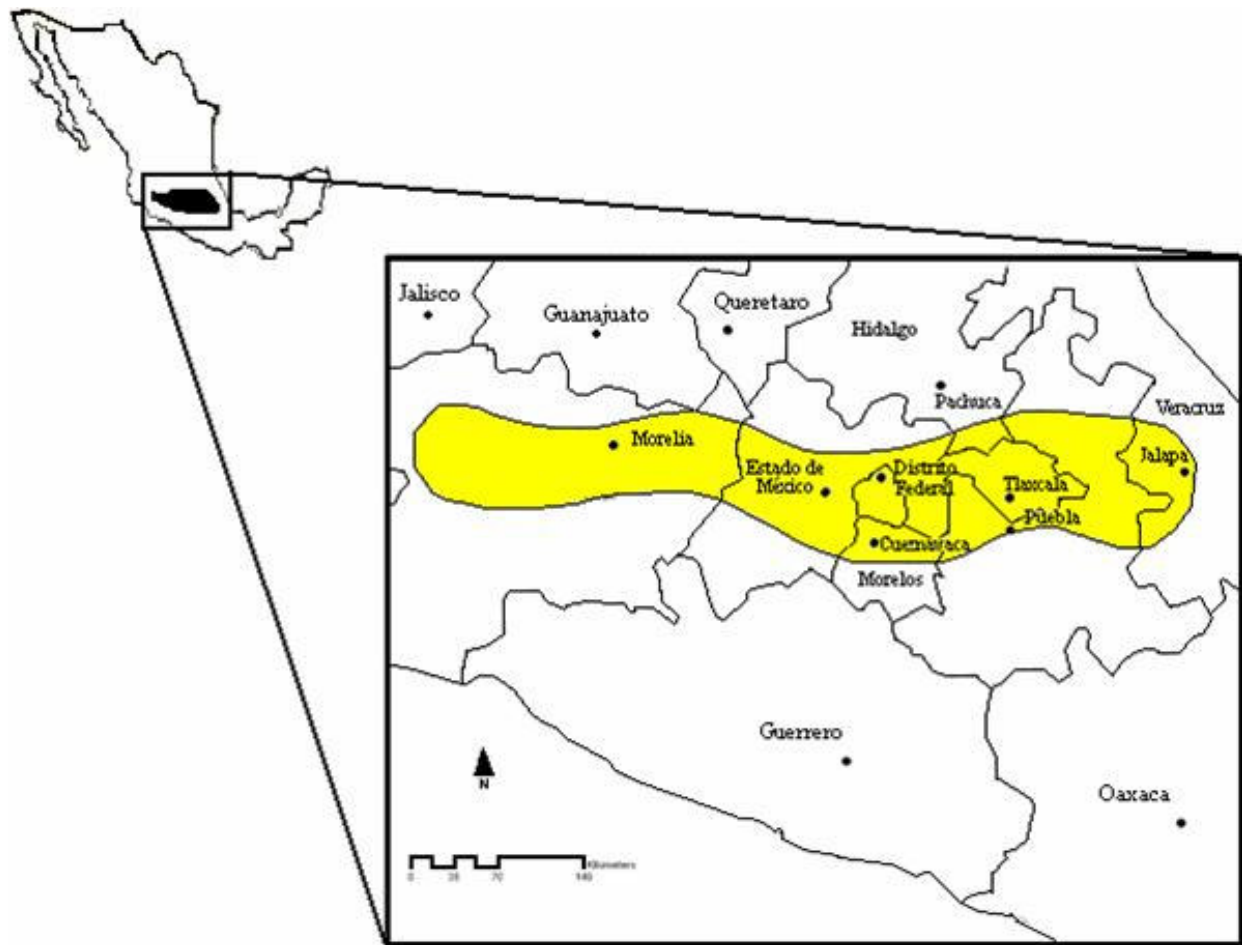


Figura 4. Distribución geográfica de *Neotomodon alstoni* (modificado de Ribble, 2006)

Antecedentes sobre el estudio de *N. alstoni*

Esta especie es la única del género *Neotomodon* y fue descrita por primera vez en 1898 por Merriam. Otras descripciones sobre la misma especie son las de Davis y Follansbee en 1945 y la más reciente de Williams *et al.* (1985), quienes lo consideran como *P. alstoni*.

Estudios citogenéticos de *N. alstoni* han sido realizados por Uribe *et al.* (1973, 1974) y Rodríguez-Romero *et al.* (1975). En cuanto a estudios ontogenéticos sólo se conoce el realizado por Guzmán (1969) sobre el desarrollo ontogenético de los molares de este ratón.

Entre los estudios con fines morfométricos se encuentra el trabajo de Montoya (1987), quien analizó la morfología del aparato reproductor masculino de *N. alstoni*. Esquivel (1975) hizo un análisis comparativo de la musculatura cráneo-cervical de *N. a. alstoni* junto con *P. boylii levipes*. Por otra parte Williams y Ramírez-Pulido (1984) analizaron la variación morfométrica del ratón de los volcanes.

Muchas investigaciones se han realizado en condiciones de laboratorio como el trabajo de Estrada (1978) quien estudió la reproducción de *N. alstoni* en estado silvestre y nacidos en cautiverio. Zarco (1981) estudió el crecimiento de *N. alstoni* nacido en el laboratorio. Martín y Ticúl-Álvarez (1982) estudiaron el crecimiento y desarrollo de este roedor en el laboratorio. Olivera *et al.* (1986) analizaron la reproducción de este ratón en el laboratorio. Hoth (1986) estudió los sistemas de apareamiento del ratón de los volcanes en cautiverio. Luis *et al.* (2000) trabajaron con la conducta parental de *N. alstoni* en cautiverio. Luis *et al.* (2004) estudiaron la presencia de los machos en el nido durante los periodos de *postpartum* y el destete que afectan el cuidado maternal, observando que los machos proveen un cuidado adicional a los jóvenes promoviendo por lo tanto la supervivencia y crecimiento de su descendencia.

Otros trabajos han estudiado a este ratón junto con otros roedores en el campo. Rojas-Martínez (1984) describió el microhábitat de cinco especies de roedores en el Cerro del Ajusco, incluido *N. alstoni*, e indicó que este roedor presentaba mayor preferencia por el zacatonal, además de ser un ratón con una población siempre abundante. Prieto (1988) estudió los hábitos alimentarios de *N. alstoni*, *P. maniculatus* y *R. megalotis*, cita que *N. alstoni* mantiene niveles constantes en el consumo de materia vegetal, pero que durante el periodo reproductivo y de lactancia aumenta su consumo de polen, concluyó además que la reproducción en las tres especies se ajusta con la máxima disponibilidad y calidad del alimento. Sánchez-Cordero y Canela-Rojo (1991) estudiaron la demografía y reproducción de cuatro cricetinos en un bosque

de coníferas a finales de los 70's, donde incluyen a *N. alstoni*, *P. maniculatus*, *R. megalotis* y *M. mexicanus*. Ellos encontraron que *N. alstoni* fue el ratón más abundante, con una máxima actividad reproductiva durante los meses más húmedos del año, alta supervivencia y época reproductiva no estacional, observando la presencia de hembras lactantes en todos los meses de su estudio, además de observar la mayor proporción de hembras lactantes con respecto a las demás especies de ratones estudiadas.

Entre los trabajos que se han enfocado sólo a este ratón se encuentran los de Canela-Rojo y Sánchez-Cordero (1984) cuyo objetivo principal fue comparar el modelo de Petticrew-Sadleir (modelo de regulación poblacional para *P. maniculatus* en zonas templadas) con respecto a las áreas de actividad (AA) de una población de *N. alstoni*, así como determinar los factores que podrían influir en el AA, durante los años de 1978 y 1979. Calcularon una densidad que fluctuó de 9.7 individuos/ha en invierno a 54.8 individuos/ha en primavera; el área de actividad fue ligeramente más grande para los machos que para las hembras, además observaron en los dos sexos que a mayor actividad reproductiva corresponde una mayor AA. Sánchez-Hernández *et al.* (1989) estudiaron la fluctuación poblacional de *N. a. alstoni* a largo plazo en la Sierra del Ajusco (de 1979 a 1984), en general registraron que el tamaño de la población fluctuó entre 17 y 65 ejemplares, observando que en cuatro periodos de colecta, de los 49 realizados, la población fue totalmente adulta, además de que en la mayoría de los periodos de muestreo se capturaron más hembras que machos, pero la diferencia no fue significativa. Asimismo, indican que la población mostró un patrón reproductivo poliestro continuo y concluyeron que el comportamiento observado en su densidad, sugiere un patrón demográfico con fluctuaciones anuales y ciclos multianuales en secuencia. Por otra parte, Álvarez y Mayo-Aceves (1993) analizaron los hábitos alimentarios de *N. alstoni* con base en el contenido gástrico de 235 ejemplares procedentes de diferentes localidades, concluyendo que la dieta de este roedor esta

constituida principalmente por plantas (28 especies), hongos, artrópodos (26 familias de insectos) y lagartijas.

Neotomodon alstoni es una especie endémica que puede considerarse bien estudiada, pero de la cual aún no se conocen aspectos sobre su organización espacial que son consecuencia de las interacciones intraespecíficas (sociales y sexuales) y del ambiente, aspectos que son fundamentales para explicar la densidad de la población.

Es importante hacer notar que muchos estudios sobre esta especie han tenido enfoques morfo-descriptivos, taxonómicos o genéticos y en gran medida se han realizado en el laboratorio. Otros que han tratado temas ecológicos, han considerado temas generales que incluyen las interacciones de *N. alstoni* con otras especies de ratones, si bien esta información es importante, aún es necesario continuar con el estudio de *N. alstoni* para conocer y comprender el comportamiento de esta especie en su ambiente natural.

3. OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar el uso del espacio entre sexos y su relación con la dinámica poblacional de *Neotomodon alstoni* en el Cerro del Ajusco, D.F.

Objetivos particulares

- Estimar la densidad poblacional durante cada periodo de muestreo.
- Describir la estructura poblacional por edades y por periodo de muestreo.
- Determinar la proporción sexual de la población y la variación anual.
- Describir la actividad reproductiva anual.
- Determinar el uso del espacio y el área de actividad para individuos adultos de diferentes sexos.
- Determinar el grado de asociación espacial entre las hembras y los machos adultos.
- Identificar el hábitat más utilizado por la población en general y determinar si hay diferencias entre los sexos.

4. ÁREA DE ESTUDIO

4.1 Localización

El Parque Nacional Cumbres del Ajusco tiene una superficie de 920 ha, se localiza al sur de la Ciudad de México, en la delegación de Tlalpan en el Distrito Federal (Conanp, 2006).

El área de estudio se encuentra en la ladera norte del Cerro del Ajusco (Figura 5 y 6), situado en las coordenadas 19°14' de latitud norte y 99°14' de longitud oeste, a una altitud de 2,850 msnm. El acceso a esta localidad es a través de la carretera panorámica que va hacia el Albergue Alpino, en el kilómetro 14.5.

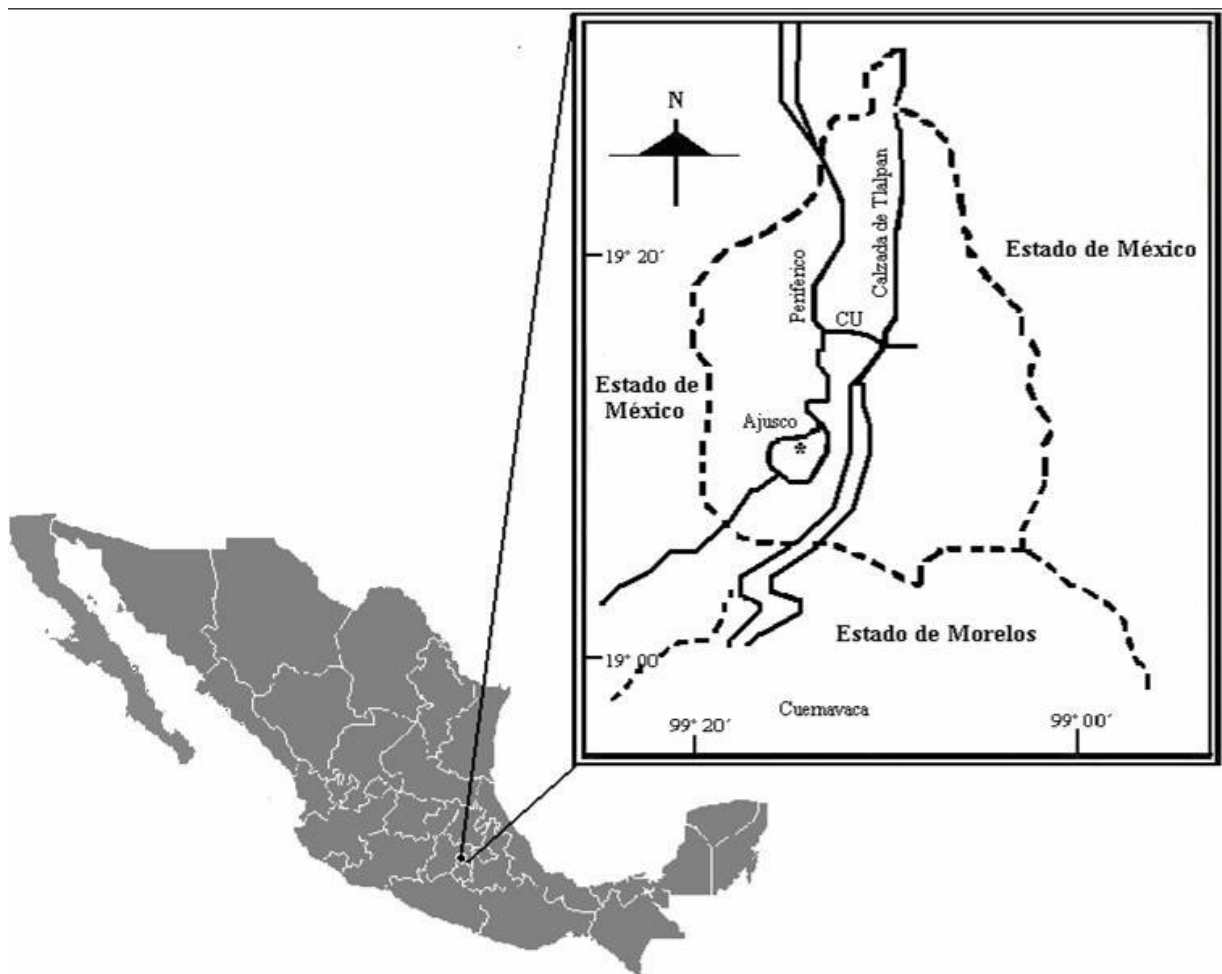


Figura 5. Ubicación del área de estudio * (modificado de Pinson-Rincon, 1991).



Figura 6. Vista panorámica del Parque Nacional “Cumbres del Ajusco”, D. F., México. Foto Sergio D. Hernández-Flores.

4.2 Orografía

Forma parte de la Sierra del Chichinautzin, que constituye el límite sur de la Cuenca de México y se encuentra dentro del Eje Neovolcánico transversal. El Ajusco ocupa una franja altitudinal que va de los 2,800 hasta los 3,937 msnm (Benítez-Badillo, 1986).

4.3 Clima

El clima es el más húmedo de los templados. De acuerdo con las variaciones locales de la altitud y del relieve es posible distinguir dos zonas climatológicas (Aranda, 1980; Benítez-Badillo, 1986).

- A. Una zona templada con verano fresco, largo y con lluvias, en áreas donde la altitud fluctúa entre los 2,800 y los 3,500 msnm.
- B. Una zona templada con lluvias en verano, pero con el verano frío y corto. Comprende zonas con una altitud por encima de los 3,500 msnm.

El mes más caluroso es mayo con una temperatura promedio de 13.6 °C, el mes más frío es enero con una temperatura promedio de 9.24 °C (Rojas-Martínez, 1984; Sánchez-Hernández *et al.*, 1989). El mes más húmedo es agosto con una precipitación promedio de 227.32 mm, el mes más seco es diciembre con una precipitación promedio de 9.74 mm. El periodo húmedo va de mayo a octubre y el seco de noviembre a abril (Rojas-Martínez, 1984; Sánchez-Hernández *et al.*, 1989).

4.4 Vegetación

El Cerro del Ajusco se incluye dentro de la Provincia Montañosa Meridional, caracterizada por los bosques de coníferas del Eje Neovolcánico Transversal (Aranda, 1980; Benítez-Badillo, 1986).

La vegetación del Ajusco está compuesta principalmente por cuatro tipos de vegetación.

- Bosques de pino

En general está constituido por dos estratos: el superior que incluye árboles y el inferior formado por pastos, arbustos y hierbas. Entre las especies de pinos se encuentran *Pinus montezumae*, *P. hartwegii*, *P. teocote*, *P. patula* *P. rudis*. Entre las especies que constituyen el estrato inferior se encuentran los zacatonos (*Muhlenbergia macroura* y *Festuca toluensis*) y arbustos (*Senecio salignus*, *Baccharis conferta*, *Eryngium columnare*). En este tipo de bosque también se pueden encontrar asociadas a otras especies arbóreas como encinos (*Quercus sp.*) y oyameles (*Abies religiosa*; Ceballos y Galindo, 1984; Benítez-Badillo, 1986).

- Bosques de oyamel

La especie dominante es el oyamel (*A. religiosa*). Hay abundancia de arbustos y los pastos son escasos (Ceballos y Galindo, 1984; Benítez-Badillo, 1986).

- Pastizales

Es posible encontrarlos en lugares abiertos entre los bosques de pino, así como en la cima del volcán. Es una comunidad frecuente en las montañas de clima templado o frío de México, esta vegetación es la que puede localizarse a mayor altitud. Las especies que se observan son *M. macroura* y *F. toluensis* (Rojas-Martínez, 1984; Benítez-Badillo, 1986)

Descripción del microhábitat vegetal

El área de muestreo se caracteriza por ser una zona reforestada y para fines de un trabajo anterior (Rojas-Martínez, 1984) la vegetación fue descrita y mapeada sobre la red de trampeo

quedando reconocidos cinco tipos de microhábitats vegetales como sigue: zacatonal, bosque, ecotono bosque-zacatonal, ecotono bosque-pradera y pradera.

Las siguientes descripciones corresponden a los microhábitats según Rojas-Martínez (1984; Figura 7).

- Zacatonal

Ocupa un área de 2,100 m² aproximadamente, con un árbol o ninguno en un área circular de 10 m de diámetro con centro en la estación de trampeo o vértice (Figura 7).

Su estrato vegetal de 40 a 200 cm de altura, se caracteriza por una densa cubierta de gramíneas amacolladas (macollo: conjunto de vástagos nacidos de la base de un mismo pie) de hasta 120 cm de alto, con el suelo casi totalmente sombreado por los macollos que forman abanicos, cuyos bordes superiores se entrecruzan constituyendo un complejo de corredores cubiertos. Las especies más comunes fueron las gramíneas: *M. macroura* y *Stipa ichu*.

El estrato de 5 a 40 cm de altura, está constituido por las gramíneas señaladas anteriormente.

En el estrato menor de 5 cm de altura, las especies presentes fueron hierbas de las especies *Phacelia platycarpa*, *Geranium seemani*, *Gnaphalium americana*, *Trifolium amabile* y musgos, los cuales conforman un tapete heterogéneo restringido a los espacios soleados y de penumbra de este microhábitat.

- Ecotono Bosque-Zacatonal

Ocupa un área aproximada de 3,875 m², donde están presentes de dos a tres árboles en un área circular de 10 m de diámetro con centro en la estación de trampeo o vértice.

Su estrato de 40 a 200 cm de altura, se caracteriza por las gramíneas amacolladas agrupadas y densas, con espacios abiertos cubiertos con hojarasca de pino, las especies más

comunes además de *M. macroura* y *S. ichu*, fueron *G. americana*, *Penstemon campanulatus* y *Commelina coelestis*.

El estrato de 5 a 40 cm, está constituido básicamente por las mismas especies.

En el estrato de menos de 5 cm. de altura, las especies más comunes fueron: *G. seemani*, *P. platycarpa*, *Alchemilla procumbens*, *T. amabile* y musgos entre otras, que forman un tapete en las partes abiertas e iluminadas.

- Bosque

Ocupa un área aproximada de 3,300 m², están presentes más de cinco árboles en un área circular de 10 m de diámetro con centro en la estación de trampeo o vértice, casi todo el suelo se encuentra sombreado.

En el estrato de 40 a 200 cm de altura la vegetación es diversa y se agrupa en manchones, dejando amplios espacios abiertos, el suelo se encuentra abundantemente cubierto de hojarasca de pino. Las especies más características fueron: *P. campanulatus*, *Pinus sp.*, *B. glutinosa*, *C. coelestis*, *Lupinus aff. geophilus*, *A. procumbens*, *M. macroura* y *S. ichu*.

En el estrato de 5 a 40 cm de altura las especies presentes fueron: *G. inornatum*, *G. americana*, *Commelina coelestis*, *L. aff. geophilus*, *A. procumbens* y *S. ichu*.

En el estrato de menos de 5 cm de altura las especies más comunes fueron: *G. seemani*, *A. procumbens*, *P. platycarpa* y musgos principalmente.

- Ecotono Bosque-Pradera

Ocupa un área aproximada de 625 m², estaban presentes de dos a tres árboles en un área circular de 10 m de diámetro con centro en la estación de trampeo o vértice.

El estrato de 40 a 200 cm de altura se caracteriza por su vegetación diversa que no se encuentra agrupada, algunas de las especies fueron *S. ichu*, *P. campanulatus*, *C. coelestis*, *G. Inornatum* y *G. americana*.

En el estrato vegetal de 5 a 40 cm. de altura las especies vegetales más comunes fueron: *C. coelestis*, *G. inornatum*, *G. americana*, *L. aff. geophilus* y *A. procumbens*.

En el estrato herbáceo de menos de 5 cm de altura, las especies herbáceas presentes fueron *A. procumbens*, *P. platycarpa*, *T. amabile*, *G. seemani* entre otras, formando un tapete heterogéneo alternado con sitios cubiertos por la hojarasca de pino.

- Pradera

Ocupa un área aproximada de 2,100 m², con un árbol o ninguno en un área circular de 10 m de diámetro con centro en la estación de trapeo o vértice.

La vegetación en el estrato de 40 a 200 cm de altura se caracteriza por ser abundante y diversa, con amplios espacios parcialmente descubiertos, la forma de crecimiento más común consiste en un tallo principal con pocas ramificaciones, la gramínea más común es *S. ichu*, la cual se presenta dispersa sin formar agrupaciones, algunas de las especies más comunes fueron: *G. inornatum*, *G. Americana*, *Argemone mexicana*, *Brassica campestris*, *B. glutinosa*, *M. macroura*, *E. pectinatum*, y *P. campanulatus* entre otras.

En el estrato vegetal de 5 a 40 cm de altura las especies presentes fueron casi las mismas que en el estrato anterior, además de *A. procumbens*.

Finalmente el estrato de menos de 5 cm de altura el tapete herbáceo se encontraba cubriendo toda la superficie del suelo, las especies más comunes fueron: *P. platycarpa*, *T. amabile*, *G. seemani*, *Sisyrinchium bracteata*, *Castilleja sp.* y *Dalea sp.*

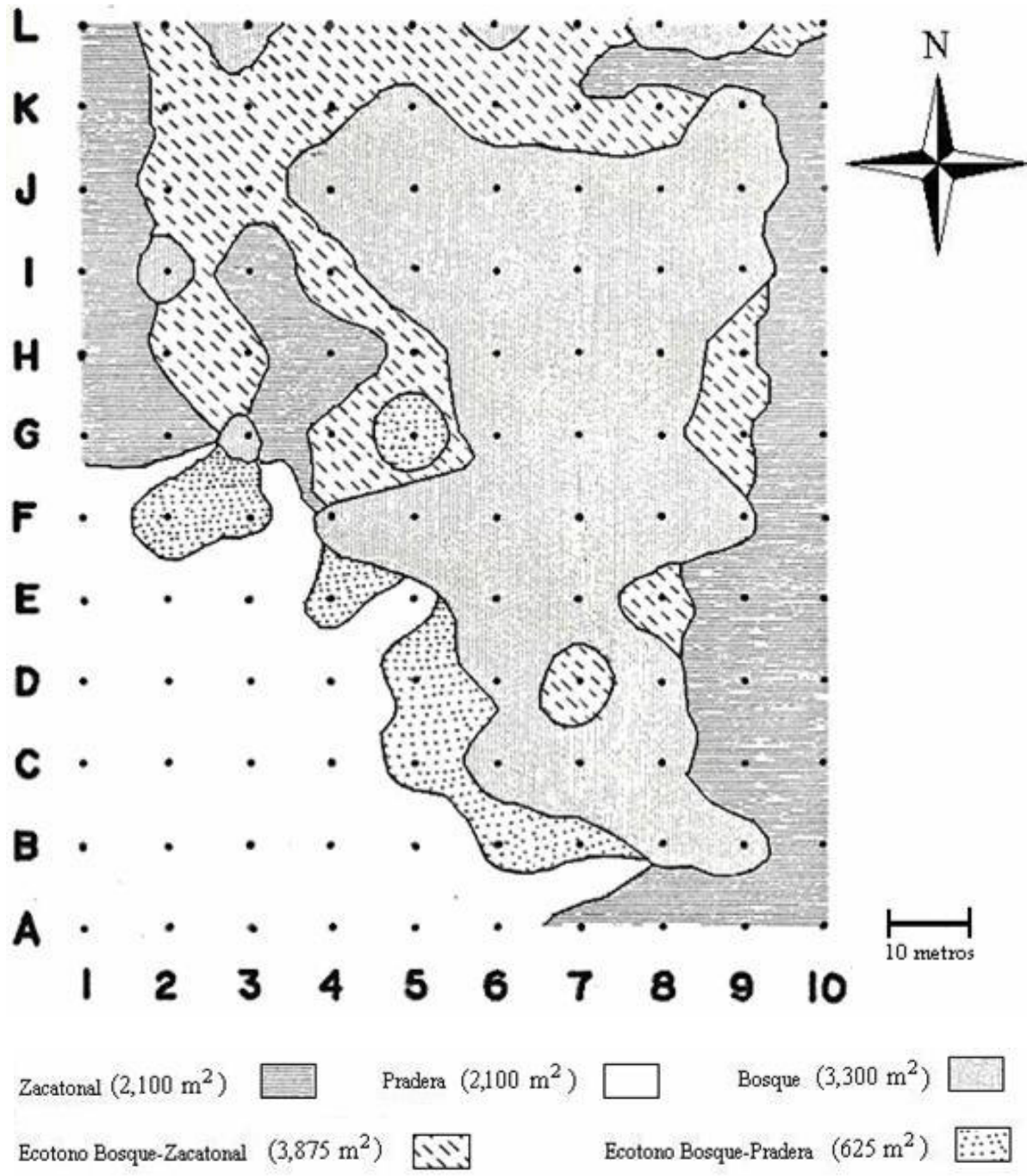


Figura 7. Representación gráfica del área que ocupan los cinco microhábitats en que habita *Neotomodon alstoni* en el área de trabajo. Cada vértice está localizado por un sistema de coordenadas formadas por una letra (A-L) y un número (1-10). Modificado de Rojas-Martínez, 1984.

5. MÉTODO

Los datos con los que se realizó este trabajo fueron proporcionados por el Dr. Alberto Rojas-Martínez y fueron obtenidos durante nueve colectas, y llevadas a cabo, con una periodicidad aproximada de un mes. Las colectas se presentan a continuación por fecha y fueron clasificadas de acuerdo a la estación del año en que se realizaron:

- 7 al 9 de junio de 1986 - Primavera
- 25 al 27 de julio de 1986 - Verano
- 12 al 14 de septiembre de 1986 - Verano
- 30 de octubre al 1 de noviembre de 1986 - Otoño
- 11 al 13 de diciembre de 1986 – Otoño
- 23 al 25 de enero de 1987 - Invierno
- 27 al 29 de mayo de 1987 - Primavera
- 1 al 3 de junio de 1987 - Primavera
- 7 al 9 de julio de 1987 - Verano

El área de trabajo fue un rectángulo de 100 x 120 m (1.2 ha), dividido en cuadros de 10 x 10 m de lado. Cada vértice se encontraba localizado por un sistema de coordenadas formadas por una letra (A-L) y un número (1-10) (Figura 8). En cada vértice o estación de trampeo se colocaron dos trampas de aluminio plegadizas (240 en total) tipo sherman (23 x 7.5 x 9 cm), cebadas con hojuelas de avena. En cada periodo de muestreo las trampas fueron colocadas y mantenidas durante dos noches, el primer día por la tarde cebándolas con avena y recibéndolas al día siguiente por la mañana.

Se utilizó la técnica de captura y recaptura, marcando a los ejemplares por ectomización de falanges (Orr, 1971). Todos los ejemplares fueron liberados en el mismo sitio de captura, identificado por sus coordenadas.

A los ratones capturados de la especie *N. alstoni* les fueron tomados los siguientes datos: coordenadas de la captura, fecha de captura, número de ejemplar, medidas morfométricas estándares (Hall, 1981), sexo, edad y condición reproductiva.

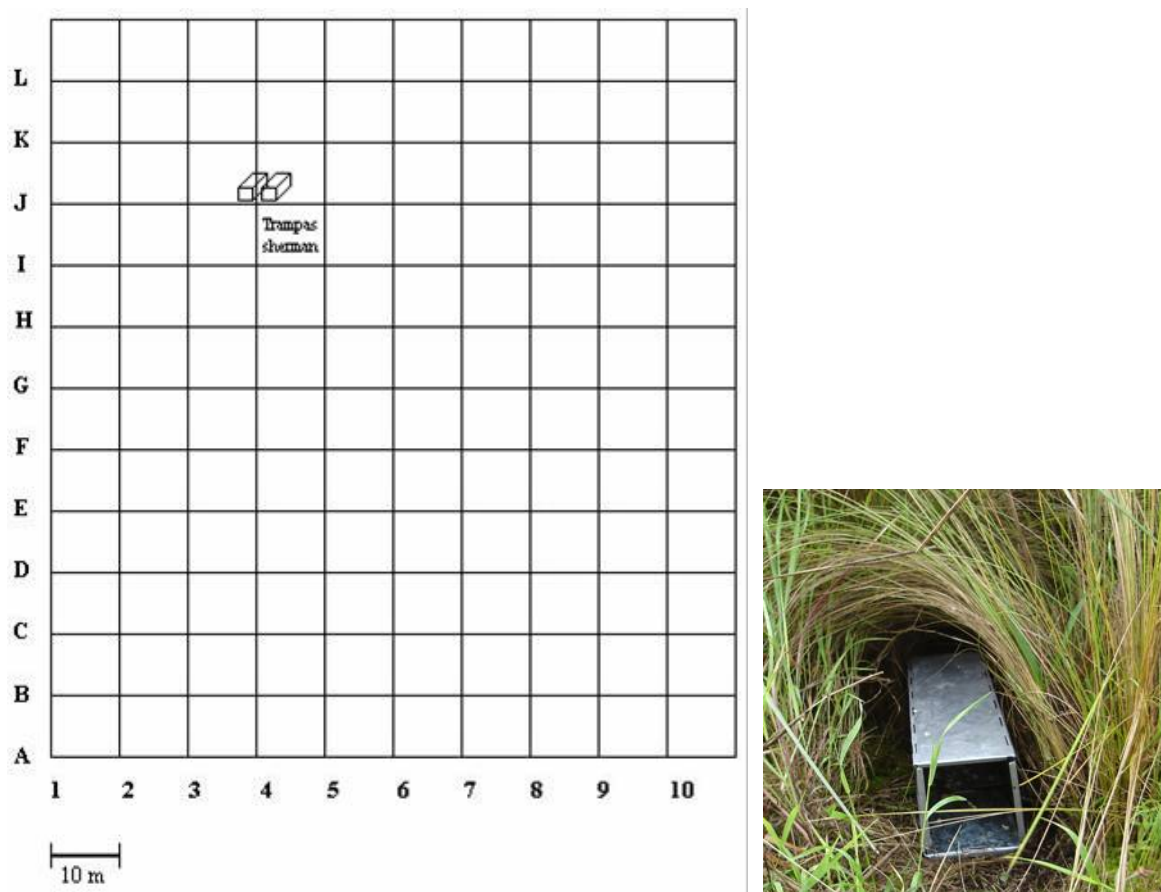


Figura 8. Sistema de coordenadas de la red de trampas utilizadas en este trabajo y ejemplo de la forma en que se colocaron las trampas tipo Sherman en cada vértice. La ilustración muestra la ubicación de las trampas colocadas en las coordenadas J-4.

5. 1 DINÁMICA POBLACIONAL

Para determinar la variación de la densidad en la población de *N. alstoni*, en este trabajo no se tomó en cuenta el 7° periodo de captura (mayo de 1987), debido a que la caída de una nevada en el Ajusco alteró el comportamiento de los ratones (menos capturas de lo normal), y no se colocaron las trampas durante la segunda noche. A pesar de lo anterior para determinar el uso del espacio y el área de actividad se consideraron todos los periodos de muestreo incluyendo el de mayo.

5.1.1 Determinación de la densidad poblacional

Debido al tamaño del área de estudio, en todos los casos la densidad se consideró como el número de individuos por 12,000 m².

Para estimar el tamaño poblacional y calcular la densidad por periodo de captura a lo largo de los dos años de muestreo se aplicaron dos métodos:

a) Directamente a partir de las capturas, considerando el número total de los individuos capturados durante cada periodo de muestreo.

b) Aplicando el método de captura-recaptura de Fisher y Ford, que permite tener varios periodos de marcaje, este método trabaja eficientemente cuando se tienen pocas recapturas. La densidad poblacional se calculó por periodo de captura utilizando la siguiente fórmula (Camarillo *et al.*, 1991):

$$N_i = [(n_i + 1) / (m_i + 1)] / M_i$$

Donde: N_i = tamaño de la población

n_i = animales capturados el día i (o muestreo i).

m_i = total de individuos marcados capturados el día i (recapturas).

M_i = marcas en riesgo en el muestreo i .

El método considera a la población abierta (nacimientos, muertes y migración), estima la fracción de la población que no es capturable y la supervivencia entre los periodos de captura (Begon, 1976; Camarillo *et al.*, 1991).

Estos resultados se representaron gráficamente comparando los dos métodos.

5.1.2 Estructura poblacional por edades

Para conocer la estructura de la población por edades se consideraron dos categorías de edad para ambos sexos: juvenil y adulto, que se establecieron de acuerdo a la condición reproductora, las características del pelaje y el tamaño de los individuos.

- Juveniles: machos con una longitud total (Lt) menor a 194 mm, y hembras con una Lt menor a 192 mm y sin evidencias de maduración sexual (ver más adelante).
- Adultos: machos con una Lt mayor a 195 mm, y hembras con una longitud mayor a 193 mm y con evidencias de alguna actividad reproductiva en ambos casos.

Se consideró al total de los individuos capturados de ambas clases de edad en cada periodo de captura como el 100% de la población y se obtuvieron los porcentajes relativos para cada edad por periodo de colecta.

Para representar la estructura de edades se gráfico el número de individuos de cada edad por periodo de colecta.

Adicionalmente fue calculado el número de juveniles presentes en la población pero no capturados, para ello se multiplicó el número de hembras lactantes capturadas por el tamaño promedio de camada conocido para esta especie (tres crías; Williams *et al.*, 1985) según el método de Sánchez-Hernández *et al.*, (1990) que permite estimar la fracción de la población de jóvenes que aún no han abandonado el nido.

5.1.3 Proporción de sexos

Proporción sexual total

Para conocer si la proporción sexual de la población de *N. alstoni* era de 1:1 como lo mencionan trabajos anteriores (Sánchez-Hernández *et al.*, 1990; Sánchez-Cordero y Canela-Rojo, 1991), se determinó la proporción de sexos a partir del número de hembras y machos capturados en cada periodo de muestreo. Para estimar la proporción de hembras y machos esperada se construyó una tabla de contingencia y se analizó con la prueba de χ^2 , con un grado de libertad, considerando que si las diferencias no eran significativas la proporción de hembras y machos puede ser considerada equivalente a 1:1. Se consideró al total de los individuos machos y hembras capturados en cada periodo de captura como el 100% de la población y se obtuvieron los porcentajes relativos para cada periodo.

Proporción sexual por edades

Para determinar si existen diferencias entre el número de individuos de cada sexo por edades se hicieron tablas de contingencia para calcular la proporción de sexos esperada para juveniles y adultos (capturas) y se analizaron con la prueba de χ^2 . Si el valor de χ^2 resultó significativo se consideró que la proporción de sexos fue distinta.

5.1.4 Actividad reproductiva

Para determinar la variación anual de la actividad reproductiva de la población adulta de *N. alstoni*, y analizar si existe una sincronización en el inicio de la actividad entre hembras y machos, se contabilizó el número de individuos con actividad reproductiva y con inactividad por sexos durante cada periodo de captura. Para reconocer la condición reproductiva de los individuos, se consideró, en el caso de los machos, la posición de los testículos (escrotados, abdominales o inguinales) y las medidas en el caso de que los testículos estuvieran escrotados

(largo y ancho). En las hembras se consideró el desarrollo de las glándulas mamarias, la presencia de fetos detectados por palpación, la abertura de la sínfisis púbica, la inflamación y la perforación de la vagina o la inactividad reproductiva (ausencia de todas las características anteriores).

Se consideraron adultos reproductivamente activos a los machos con testículos escrotados, y a hembras preñadas, lactantes o con vagina túrgida o perforada. Para el caso de los adultos inactivos se consideraron a los machos con testículos inguinales o abdominales, y a las hembras no gestantes o con vagina inactiva o cornificada y con glándulas mamarias pequeñas.

Se determinó el número de individuos adultos sexualmente activos y no activos para la población en general y por sexos durante cada periodo de captura para conocer la variación de la actividad reproductiva a lo largo del estudio y la información obtenida se gráfico por periodo de muestreo.

5.2 USO DEL ESPACIO Y ÁREA DE ACTIVIDAD

5.2.1 Determinación del uso del espacio

Para determinar la relación que guardan los individuos de cada sexo en el espacio habitable, considerando que en condiciones naturales pueden estar agrupados o separados, se determinó el patrón del uso del espacio (azar, agregado o regular) para toda la población y diferenciando entre hembras y machos. Para ello se utilizó la razón varianza/promedio (CD) de la distribución de Poisson, considerando que si el valor obtenido era menor a uno, los individuos de la especie ocupan el espacio de manera regular, si era mayor a uno, ocupan el espacio de manera agrupada y si era igual a uno, entonces se consideró que utilizan el espacio de manera azarosa, adicionalmente se calculó el valor del error estándar para cada estimación . En caso de

que el valor fuera cercano al valor límite se obtendrían los límites de confianza utilizando la tabla de “t”, con n-1 (gl) y 95% de confianza (Ravinovich, 1982).

Asociación entre sexos

Para establecer si existe asociación entre los sitios de captura de los machos y las hembras adultos que sugieran algún tipo de interacciones ya sean positivas o negativas, se aplicó una tabla de contingencia para determinar si existe diferencia entre la frecuencia con la que se capturaron en cada estación de trampeo: ambos sexos (a), sólo machos (b), sólo hembras (c) y lugares sin captura de adultos (d).

El grado de asociación entre individuos (Smith, 1980) se puede determinar de tres formas y según se cumpla alguna de las siguientes condiciones:

Sí $b \times c > a \times d$ y $d \geq a$

entonces:

$$C = \frac{(a \times d) - (b \times c)}{(a + b)(a + c)}$$

Sí $b \times c > a \times d$ y $a > d$

entonces:

$$C = \frac{(a \times d) - (b \times c)}{(b + d)(c + d)}$$

Sí $a \times d \geq b \times c$

entonces:

$$C = \frac{(a \times d) - (b \times c)}{(a + b)(b + d)}$$

Donde:

C= coeficiente de asociación.

a= número de sitios que capturaron adultos de ambos sexos.

b= número de sitios que sólo capturaron machos adultos.

c= número de sitios que sólo capturaron hembras adultos.

d= número de sitios que no capturaron ningún adulto.

El valor de C calculado indica el grado de asociación, si este valor es igual o cercano a +1 sugiere que hay una asociación positiva, si el valor es -1 sugiere una asociación negativa, y si el valor es $=0$ sugiere que no hay ningún patrón de asociación (comportamiento al azar).

Para determinar si el coeficiente de asociación fue significativo se aplicó una prueba de χ^2 , considerando que si el valor de χ^2 es significativo reafirma el resultado del coeficiente obtenido (Smith, 1980).

Preferencia de microhábitat

También se determinó la preferencia de microhábitat (*sensu* Rojas-Martínez, 1984) para la población en general y separando entre sexos. Se contabilizó el número de individuos adultos que fueron capturados en cada tipo de microhábitat durante todo el tiempo de muestreo y se dividió entre el número de estaciones de trapeo por microhábitat, para poder comparar la preferencia de hábitat entre sexos. Por ejemplo en la pradera se capturaron 30 hembras adultas, este número se dividió entre el número de estaciones de trapeo que se colocaron en este microhábitat (24), por lo tanto, $30/24 = 1.25$ hembras adultas en promedio por estación de trapeo en la pradera.

Se aplicó una prueba de χ^2 para conocer si había diferencias entre los sexos en el uso del microhábitat, considerando que si las diferencias observadas eran significativas existía un uso diferencial del microhábitat por parte de los sexos.

5.2.2 Determinación del área de actividad

Para definir el área de actividad (AA), se delimitó el área comprendida entre todos los puntos de captura de un individuo. Para determinar el AA se aplicó el método de “área límite ampliada” (Figura 9), el cual consiste en unir los puntos de captura extremos de cada individuo,

añadiendo una franja que llega a la mitad de la distancia entre trampas, para calcular el área contenida en el polígono formado entre ellos (Delany, 1981). El AA sólo se calculó para aquellos individuos adultos que tuvieran cuatro o más recapturas, lo cual fue interpretado como evidencia de que eran individuos residentes en el área.

El AA se midió por sexo y se determinó si el tamaño del AA es distinto entre los sexos usando una prueba de U de Mann Whitney usando los datos por individuo. La existencia de diferencias significativas se interpretó como que el AA era mayor en uno de los sexos.

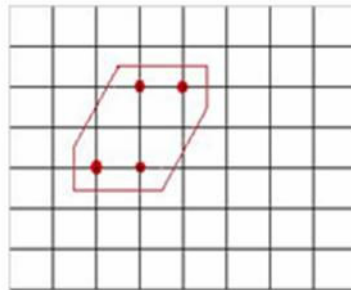


Figura 9. Representación gráfica del método de área límite ampliada.

6. RESULTADOS

Al final de los nueve periodos de muestreo se registraron un total de 183 capturas, con un esfuerzo de 4,320 trampas noche, con un total de 69 individuos marcados. El 53.55% de las capturas correspondieron a hembras y el 46.45% fueron machos. El total de recapturas fue de 112, las recapturas fluctuaron entre 5 y 18 individuos por colecta. El máximo número de recapturas se presentó en diciembre de 1986 (quinto periodo) y julio de 1987 (noveno periodo). La mayoría de los individuos sólo fueron capturados una vez y en su mayoría fueron hembras (Figura 10).

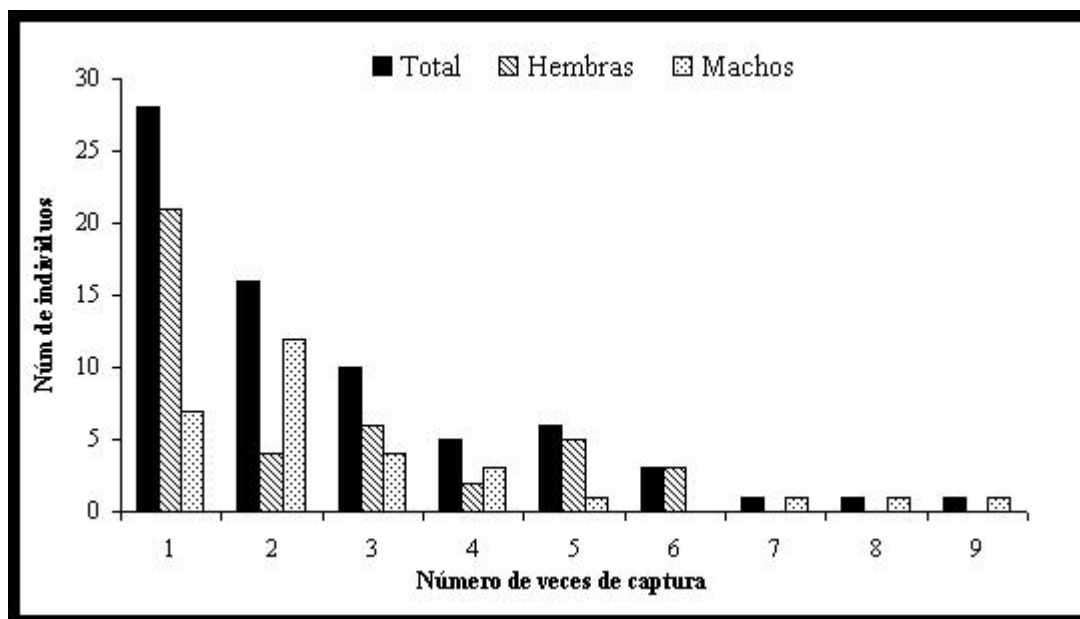


Figura 10. Número de veces que fueron capturados los individuos de *Neotomodon alstoni* en total y por sexo.

6.1 DINÁMICA POBLACIONAL

En esta sección no fue considerado el muestreo de mayo de 1987, como anteriormente se mencionó en el método, por este motivo sólo se consideraron 177 capturas.

Densidad poblacional

La densidad obtenida a partir de las capturas varió entre 16 y 28 individuos con un promedio de 22 individuos, teniendo el número máximo en el mes de octubre con 28 individuos, seguido de los meses de diciembre y junio (1986) con 24 individuos cada uno y julio (1987) con 23 individuos. Mientras que el número mínimo de capturas se presentó en el mes de enero con 16, en julio y septiembre (1986) con 20 individuos cada uno (Figura 11, Cuadro 1 y 2).

Durante el estudio se observaron también los cambios en la densidad poblacional de hembras y machos (Figura 12). Para las hembras y machos la densidad varió de 7 a 14 individuos, con un promedio de 12 para hembras y 10 en los machos. Durante los tres primeros periodos de muestreo (junio, julio y septiembre), el quinto (diciembre) y el octavo (julio) se colectaron un mayor número de hembras que de machos. El periodo con mayor densidad para ambos sexos fue el de octubre-noviembre (otoño), y el periodo con menor densidad fue enero para las hembras y septiembre para los machos.

El tamaño poblacional calculado por el método Fisher-Ford (Cuadro 1), fluctuó entre 22 y 62 individuos, con un promedio de 43 individuos. Los máximos poblacionales ocurrieron en octubre-noviembre de 1986 y en junio de 1987, los mínimos en julio y septiembre de 1986 con 22 y 34 individuos respectivamente (Figura 11).

El número estimado de individuos perdidos por emigración o por muertes (L_i), varió de 8 en el mes julio (1986) a 22 en junio de 1987. En cuanto al número de entradas estimadas a la población ya sea por nacimientos o por migración (B_i), varió entre 7 individuos (junio de 1987) y 34 (enero de 1987; Cuadro 1 y 3).

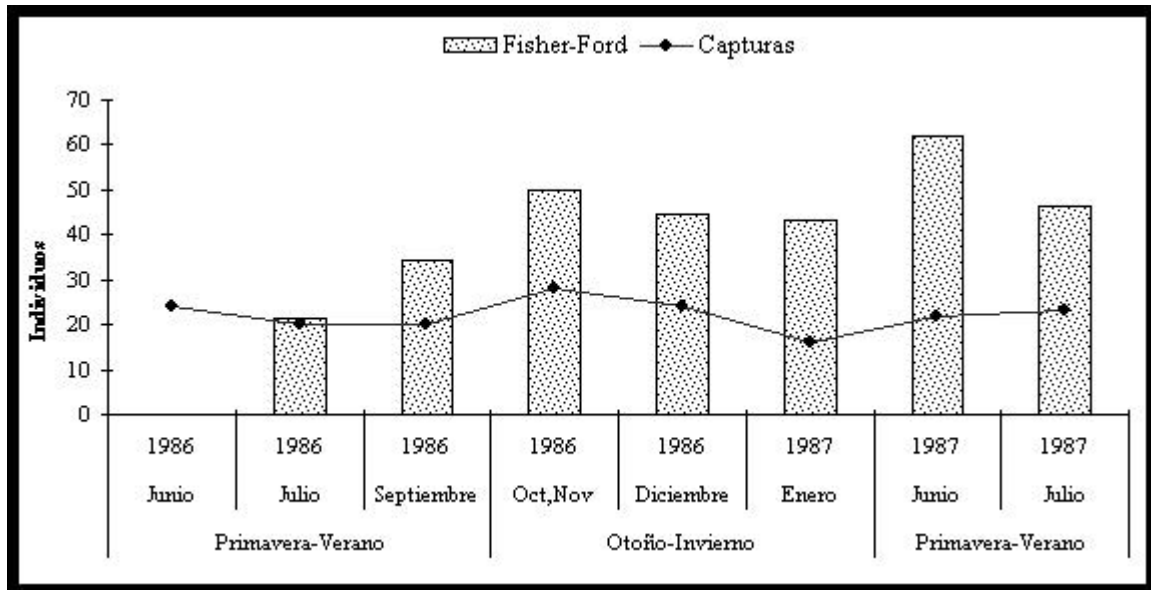


Figura 11. Fluctuación de la densidad poblacional de *Neotomodon alstoni* a lo largo del estudio, obtenida por la estimación del método de Fisher-Ford, comparando los valores obtenidos con el número de capturas durante cada periodo de muestreo

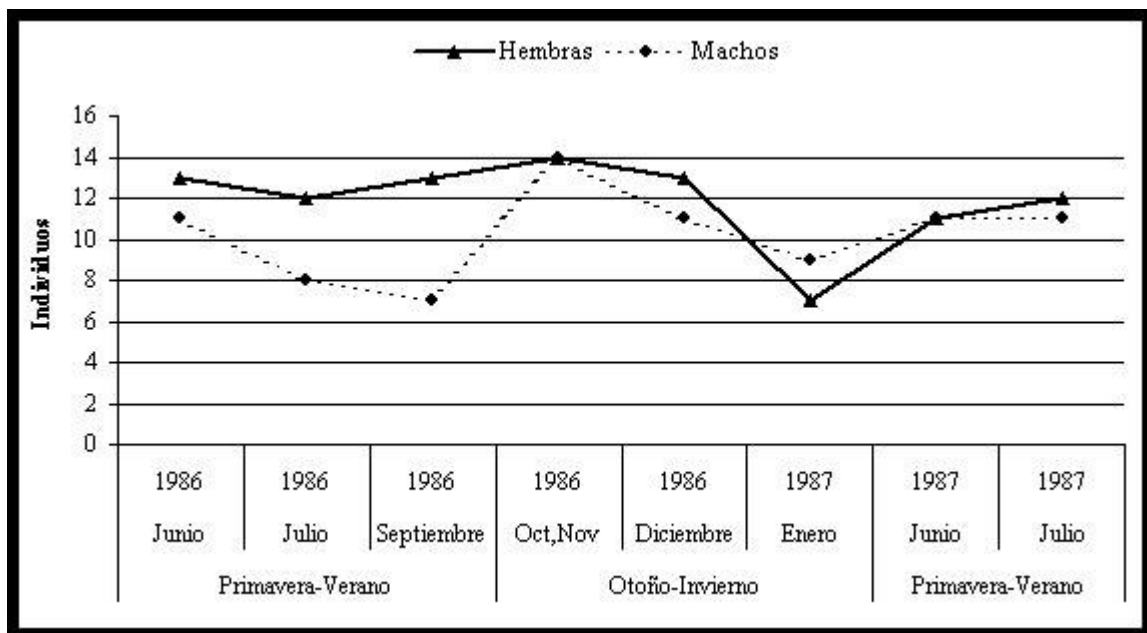


Figura 12. Variación de la densidad poblacional de machos y hembras de *Neotomodon alstoni*, obtenidas por medio de las capturas durante el estudio.

Cuadro 1. Tamaño de la población de *Neotomodon alstoni* y algunos parámetros poblacionales por cada periodo de muestreo.

Periodo de muestreo	Capturados n_i	Liberados r_i	Recapturas m_i	N_i	L_i	B_i
1986 Junio-Primavera	24	24				
1986 Julio-Verano	20	20	14	22	8	20
1986 Septiembre-Verano	20	20	13	34	12	28
1986 Oct,Nov-Otoño	28	28	15	50	18	13
1986 Diciembre-Otoño	24	24	19	45	16	15
1987 Enero-Invierno	16	16	14	43	16	34
1987 Junio-Primavera	22	22	12	62	22	7
1987 Julio-Verano	23	23	18	46	16	

Nota: Los valores de N_i , L_i y B_i fueron redondeados

Donde: n_i = Número de individuos capturados; r_i = animales liberados en cada muestra; m_i = recapturas en cada muestra; N_i = tamaño poblacional estimado en cada muestra; L_i = pérdidas en cada muestra (muertes y emigración); B_i = adiciones en cada muestra (nacimientos e inmigración).

Cuadro 2. Número de individuos marcados y recapturados durante todo el estudio.

Núm. de colecta	Capturados n_i	Día en que se liberan las marcas i (recapturas)						
		1	2	3	4	5	6	7
1	24							
2	20	14						
3	20	0	13					
4	28	0	1	14				
5	24	0	0	1	18			
6	16	0	0	0	3	11		
7	22	0	1	0	0	2	9	
8	23	0	0	0	0	0	0	18

Donde: n_i = animales capturados el día (o muestreo) i ; m_i = total de individuos marcados capturados el día i (recapturas).

El cuadro 3 muestra los valores obtenidos en el cálculo de la densidad estimada por periodo de colecta con el método de Fisher-Ford, para *Neotomodon alstoni*.

Cuadro 3. Estimación de la densidad, supervivencia, entradas (nacimientos e inmigración), pérdidas (mortalidad y emigración) y marcas en riesgo.

Día i	m_i	$\sum m_{ij} (i-j)$	M_{i+1}	A_{i+1}	$A_i M_i$	M_i	N_i	L_i	B_i
1			15.42						
2	14	14	25.33	1	25.33	15.42	21.59	7.77	20.33
3	13	36	29.13	1.56	45.41	22.76	34.14	12.29	27.95
4	15	44	31.57	1.73	54.62	27.48	49.81	17.93	12.69
5	19	75	38.28	1.82	69.67	35.65	44.56	16.04	14.92
6	14	67	40.02	2.05	82.04	38.33	43.44	15.64	33.97
7	12	73	36.00	2.40	86.40	34.91	61.77	22.24	6.66
8	18	144	37.27	2.40	89.45	36.57	46.20	16.63	
		$\Sigma = 453$	$\Sigma = 253.03$	$\Sigma = 12.9588$	$\Sigma = 452.92$				
		$\phi = 0.64$							

Donde: m_i = total de marcas capturadas el día i= $\sum m_{ij}$ = recapturas; $\sum m_{ij} (i-j)$ = número de días (o edad) de las marcas de cada muestreo; $\sum \sum m_{ij} (i-j)$ = suma total de los días que han sobrevivido (o permanecido) las marcas a lo largo del estudio (=TDS observados); $M_{i+1} = \phi (M_i + r_i)$ = número total de marcas en riesgo antes de la siguiente colecta; $A_{i+1} = A_i M_i / (M_i + r_i) + 1$ = edad total de las marcas antes del muestreo siguiente ϕ = proporción de la población que sobrevive de un muestreo al siguiente; M_i = marcas en riesgo en el muestreo i; N_i = tamaño estimado de la población; L_i = pérdidas (muertes + emigración) en la población del muestreo i al muestreo i + 1, $L_i = (1 - \phi) N_i$.; B_i = adiciones (nacimientos + inmigración) en la población, del muestreo i al muestreo i + 1, $B_i = N_{i+1} - \phi N_i$.

Estructura poblacional por edades

Durante todo el periodo de estudio la mayor parte de la población, según las capturas, estuvo constituida por adultos (Figura 13). Los juveniles se capturaron a partir del mes de julio (1986) hasta enero (1987), volviéndose a registrar nuevamente en julio de 1987. La mayoría de los juveniles fueron capturados en septiembre y octubre-noviembre del primer año. Se observa también que en dos meses (junio de ambos años) la población estuvo constituida totalmente por adultos.

Número estimado de juveniles

A lo largo del trabajo se capturaron un total de 20 hembras lactantes, por lo tanto el número estimado de juveniles presentes en la población pero no capturados fue de 60 individuos (Figura 14). El mayor número de juveniles, estimado por este método, se encontró entre los meses de julio y septiembre de 1986, con 15 y 18 individuos respectivamente. De acuerdo con estos resultados en septiembre el número de juveniles fue superior a los adultos.

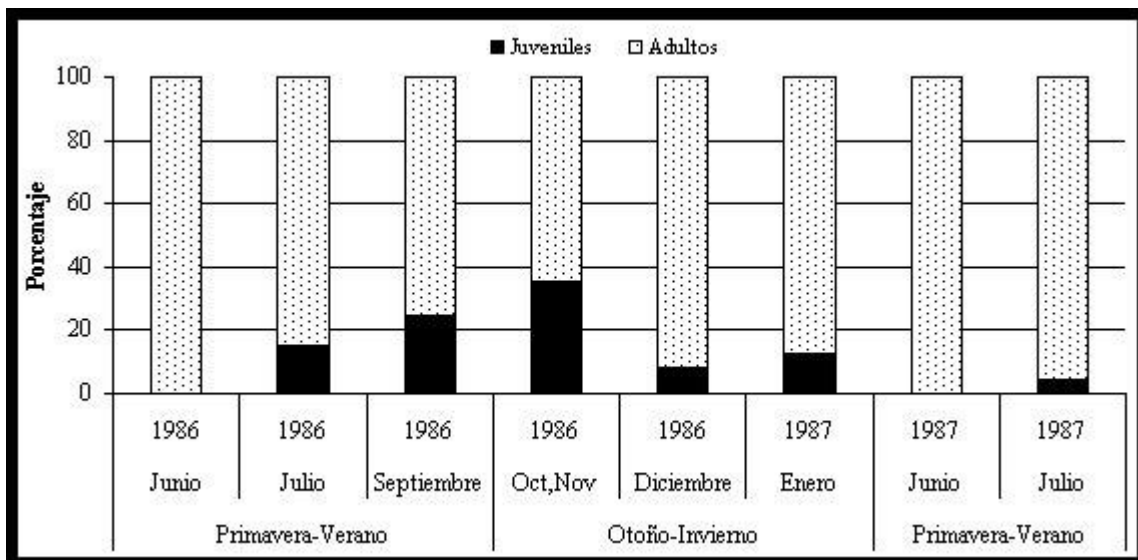


Figura 13. Estructura de edades de *Neotomodon alstoni* a lo largo del estudio. En total se capturaron 154 adultos y 23 juveniles (n=177).

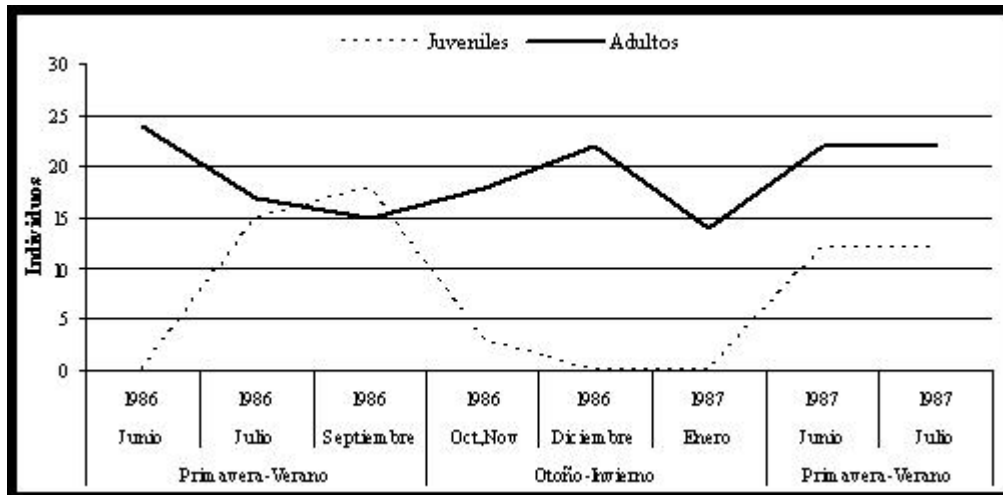


Figura 14. Número estimado de juveniles comparado con el número real de adultos capturados de *Neotomodon alstoni*.

Proporción de sexos

Proporción sexual total

Durante los ocho periodos de muestreo fueron capturados 95 hembras y 82 machos (Figura 15). La proporción de sexos tomando el total de las capturas no fue diferente de 1:1 ($\chi^2=0.96$, $p<0.05$, $gl=1$).

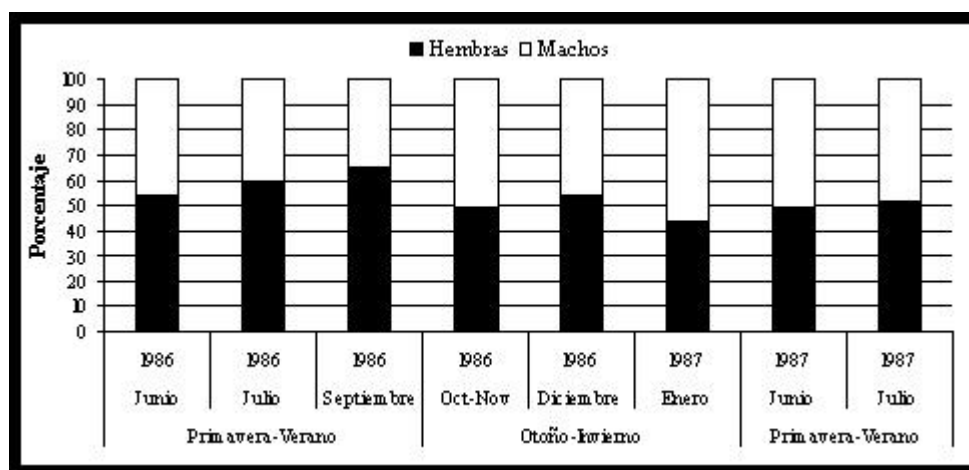


Figura 15. Proporción de hembras y machos de *Neotomodon alstoni* observado a lo largo del periodo de estudio en el Cerro del Ajusco.

Proporción sexual por edades

En cuanto a la proporción de sexos por edades (Figura 16) se capturó un mayor número hembras juveniles (15) que de machos juveniles (8). En los meses de julio, septiembre y octubre-noviembre de 1986 y en julio de 1987 hubo una mayor captura de hembras juveniles que de machos, pero las diferencias no fueron significativas ($\chi^2=2.13$, $p<0.05$, $gl=1$). Mientras que entre los machos y las hembras adultos las diferencias observadas tampoco fueron significativas ($\chi^2=0.23$, $p<0.05$, $gl=1$).

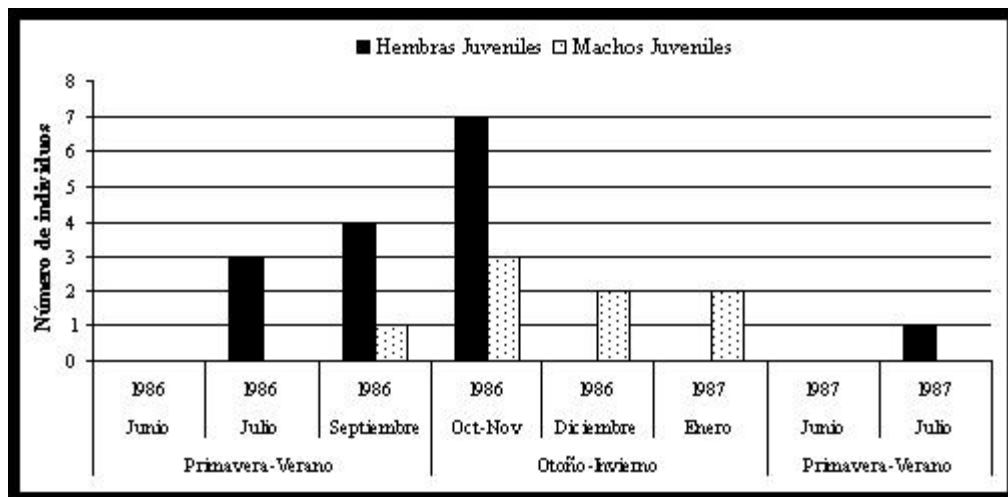


Figura 16. Número de machos y hembras juveniles capturados de *Neotomodon alstoni* en cada periodo de muestreo.

Actividad reproductiva

Los momentos de mayor actividad reproductiva ocurrieron entre los meses de junio y julio de ambos años (1986-1987), que comprenden la primavera y el verano (Figura 17), mientras que la temporada no reproductiva se observó entre el otoño y el invierno, que comprenden los meses de octubre-noviembre, diciembre y enero.

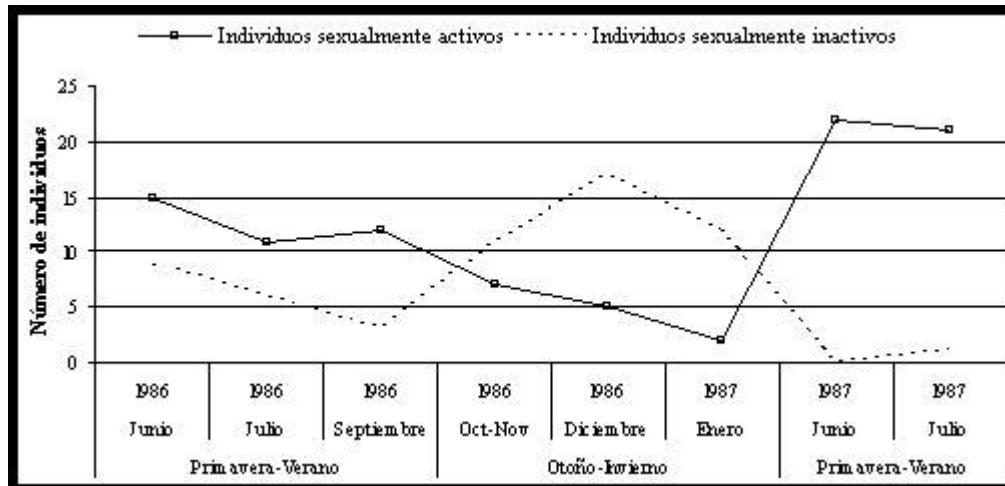


Figura 17. Actividad reproductiva de adultos de *Neotomodon alstoni* a lo largo del estudio.

En todos los periodos de muestreo se capturaron hembras con alguna evidencia de actividad reproductiva, mientras que en el caso de los machos en dos periodos (diciembre y enero) no se capturaron individuos con testículos escrotados (Figura 18). Además se observó que en el primer periodo de reproducción los machos iniciaron su actividad casi al mismo tiempo que las hembras y que conforme disminuyeron las evidencias de la actividad reproductiva en los machos (después del mes de junio), la de las hembras aumentó y se prolongó hasta el otoño e invierno, que corresponde al periodo de gestación y lactancia. En ambos casos (hembras y machos) la actividad reproductiva disminuye drásticamente a finales de otoño (diciembre) y durante el invierno (enero).

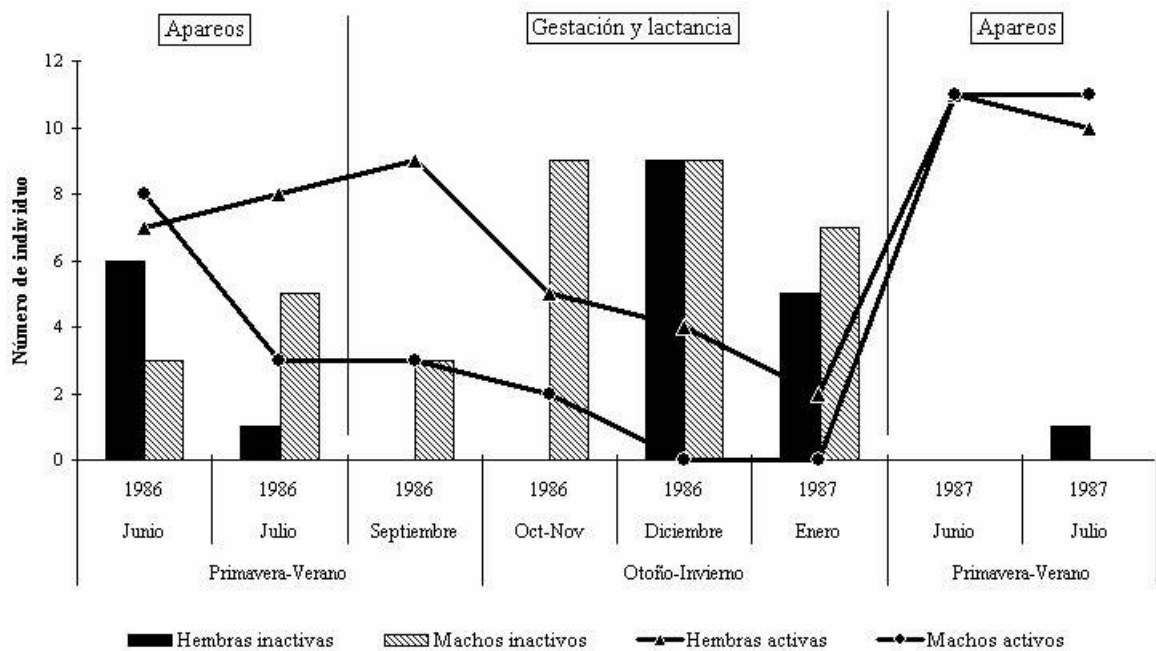


Figura 18. Actividad reproductiva de hembras y machos de *Neotomodon alstoni* durante los ocho periodos de muestreo.

6.2 USO DEL ESPACIO Y ÁREA DE ACTIVIDAD

Determinación del uso del espacio

Para la poblacional en general, diferenciando entre sexos, condición reproductiva y entre edades (Cuadro 4) la distribución en el espacio fue de tipo agregada, en todos los casos los valores del coeficiente de dispersión (CD) fueron mayores a uno, inclusive cuando se le restó el valor del error estándar.

Cuadro 4. Valores del coeficiente de dispersión (CD) obtenidos para la población de *Neotomodon alstoni*, por sexo y condición reproductiva, además se muestra el valor del CD menos un error estándar (EE).

GRUPO	CD	CD-1EE
Población	4,13	3.24
Adultos	4,58	3.71
Juveniles	1,5	1.23
Hembras	2,24	1.73
H. activas	1,73	1.33
H. inactivas	1,48	1.20
Machos	1,59	1.18
M. activos	1,39	1.06
M. inactivos	1,74	1.37

Nota: Debido a que los valores fueron visiblemente superiores a 1, no fue necesario obtener los límites de confianza.

Asociación entre sexos

Debido a que se cumplió la condición de que $\mathbf{a} \times \mathbf{d} \geq \mathbf{b} \times \mathbf{c}$, el coeficiente de asociación se determinó con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{ad - bc}{(a + b)(b + d)} = \frac{90 - 30}{(14 + 28)(14 + 62)} = 0.019$$

El valor del coeficiente de asociación (Cuadro 5) obtenido entre machos y hembras adultos resultó significativo ($\chi^2=25.04$, $p<0.05$, $gl=1$), por lo tanto fue mayor a cero, lo que implica que entre los machos y las hembras hay una asociación positiva.

Cuadro 5. Tabla de contingencia con los valores observados y esperados en los sitios de captura de individuos de *Neotomodon alstoni* por sexos, así como el valor de χ^2 obtenido.

Sitios de captura	Valor observado	Valor esperado	χ^2
<i>a</i>	28	15.4	10.31
<i>b</i>	14	26.6	5.97
<i>c</i>	16	28.6	5.55
<i>d</i>	62	49.4	3.21

$\chi^2 = 25.04$

Donde *a*= número de sitios que contienen ambos sexos, *b*= número de sitios que sólo son ocupados por machos, *c*= número de sitios que sólo son ocupados por hembras, *d*= número de sitios que no contienen ninguno de los sexos.

Preferencia de microhábitat

Con relación a los microhábitats que prefieren los individuos adultos por sexos (Figura 19) se encontró que las diferencias observadas fueron significativas ($\chi^2=16.78$, $p<0.05$, $gl=4$). De acuerdo con lo anterior es posible sugerir que las hembras prefieren la pradera y el zacatonal, mientras que los machos se encuentran más en la pradera y en el bosque-pradera. Aunque la población en conjunto se agrupó en primer lugar en la pradera, después en el zacatonal, seguido del bosque-pradera, bosque-zacatonal y por último en el bosque.

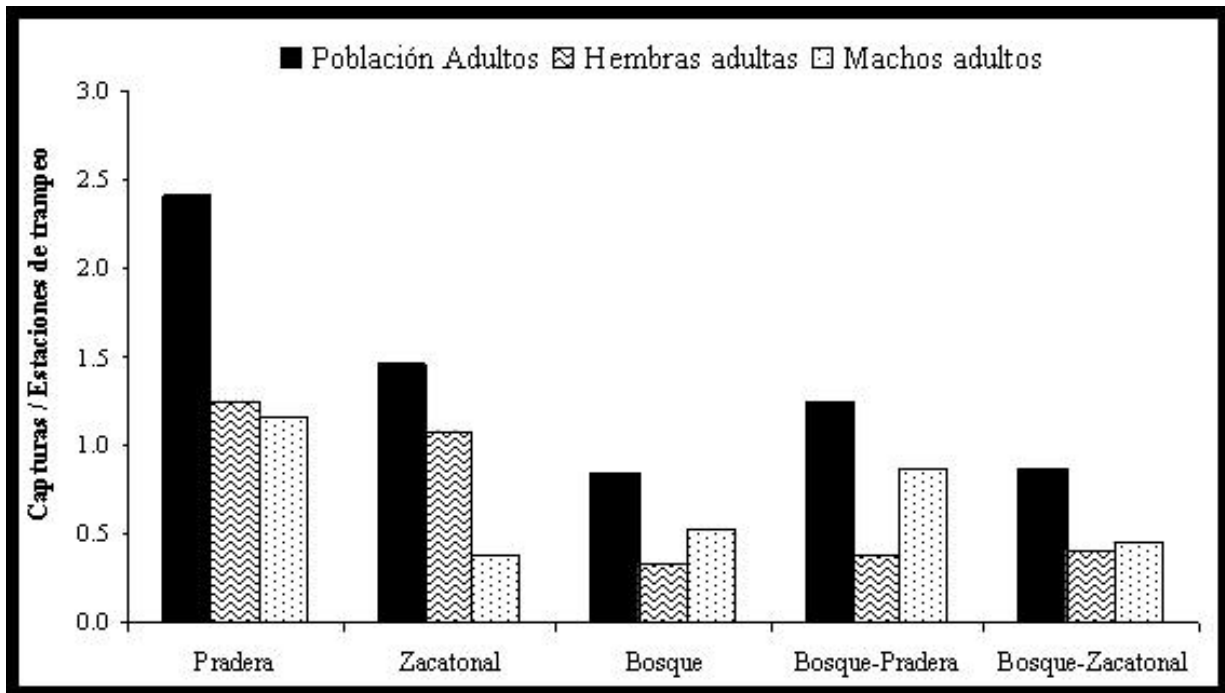


Figura 19. Preferencia de microhábitat que muestran en conjunto los adultos de la población, así como las hembras y los machos adultos de *Neotomodon alstoni* en el área de estudio.

Área de actividad

El área de actividad (AA) calculada por el método de límite ampliado se determinó para 10 hembras (Figura 20) y 7 machos (Figura 21) que se consideraron residentes (Cuadro 6). En promedio el AA de los machos ($1,270 \text{ m}^2$) fue mayor que el de las hembras (907.3 m^2), siendo significativas estas diferencias ($U=52, p>0.05$). Aunque dos hembras son las que presentaron las AA más grandes de los 17 individuos analizados, las hembras también presentaron AA con mayor variación en el tamaño (200 m^2 a 2300 m^2) con relación a los machos (876 m^2 a 1921 m^2).

Las AA en ambos casos muestran solapamiento y se encuentran concentradas en la pradera y el zacatonal. Las AA de los machos incluyeron de tres a seis AA de hembras cada uno, con un promedio de 4.4 AA de hembras por macho.

Cuadro 6. Áreas de actividad (AA) de 17 individuos residentes de *Neotomodon alstoni*, indicando el sexo, el número de marca, el número de recapturas y el promedio del AA para hembras y machos.

Hembras			Machos		
Núm. de marca	Núm. de recapturas	AA (m ²)	Núm. de marca	Núm. de recapturas	AA (m ²)
2	5	2137	13	7	1921
9	6	471.5	22	9	1040
20	6	1225	28	7	1648
21	5	500	30	5	924
24	6	350	33	4	1203
36	4	526	66	4	876
52	5	663	84	4	1280
56	5	200			
60	5	2300			
79	4	700			
Promedio: 907.3			<i>Promedio: 1270</i>		

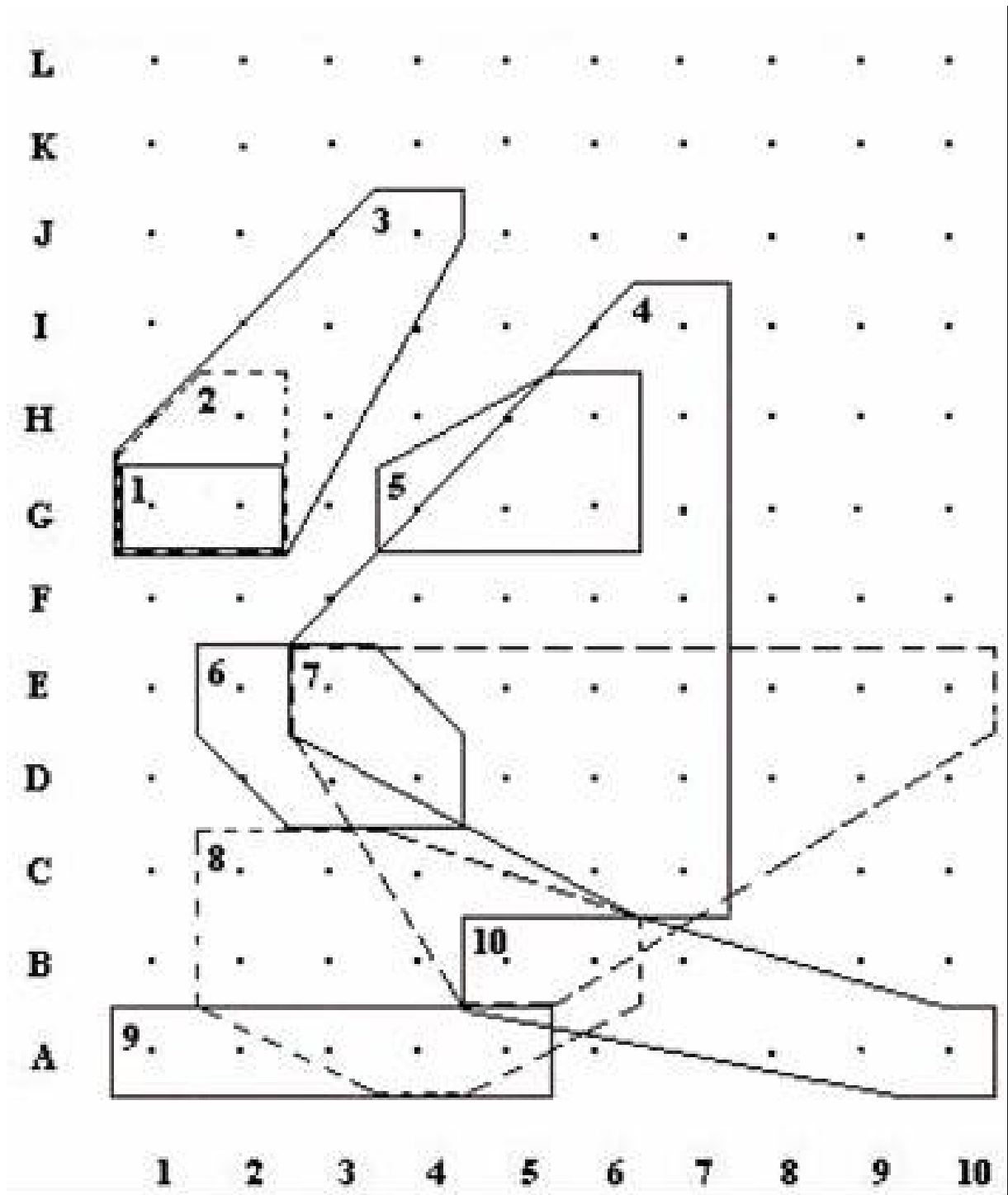


Figura 20. Áreas de actividad de 10 hembras de *Neotomodon alstoni* en el Cerro del Ajusco.

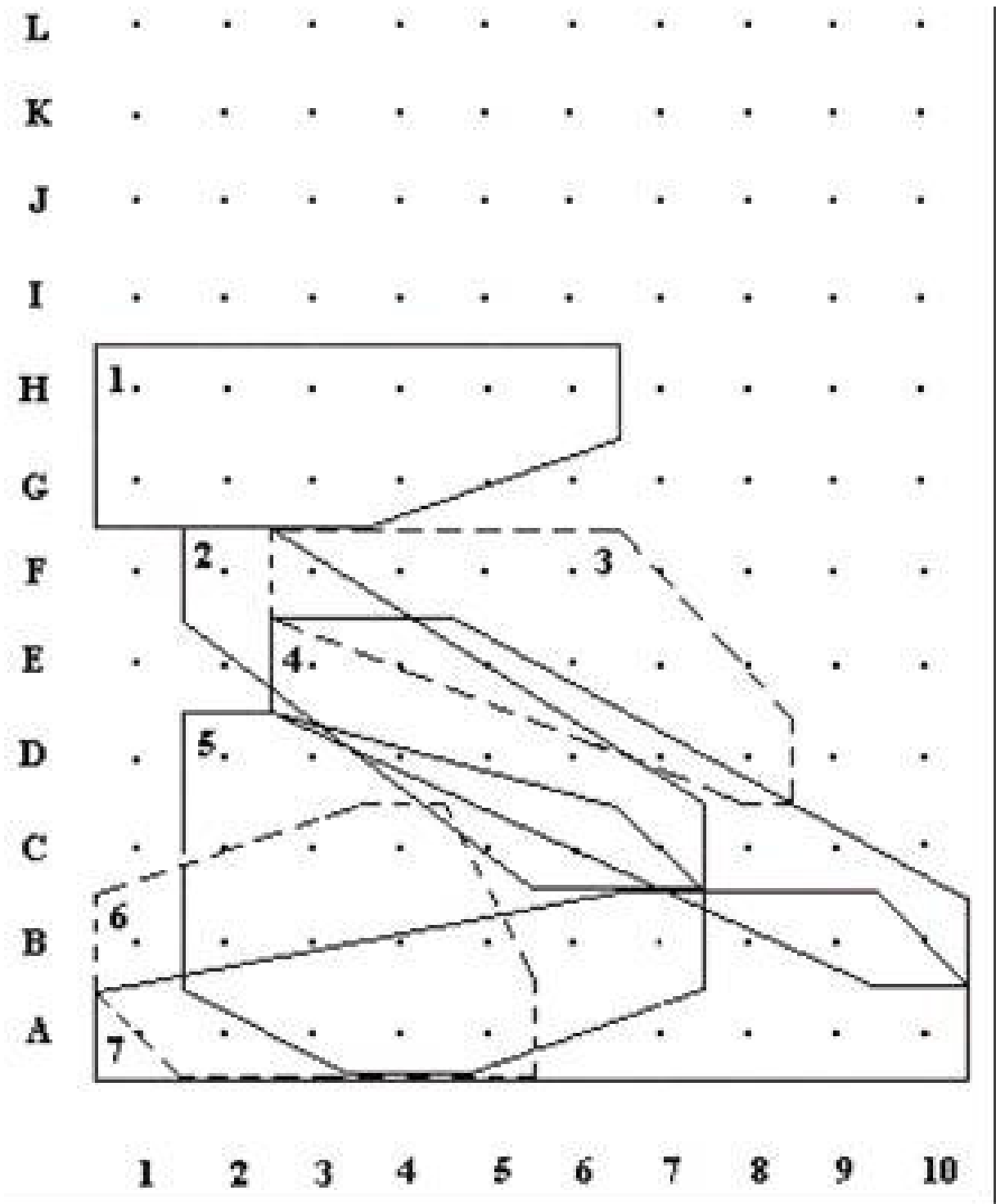


Figura 21. Áreas de actividad de siete machos de *Neotomodon alstoni* en el Cerro del Ajusco.

7. DISCUSIÓN

DINÁMICA POBLACIONAL

1. Densidad poblacional

Durante este trabajo el número de individuos capturados de *N. alstoni* tuvo su máximo en el otoño con 28 capturas, debido probablemente a la presencia de los juveniles en la población, la captura mínima ocurrió durante el invierno con 16 capturas, la disminución observada en la densidad se puede explicar por las bajas temperaturas que se presentan en el Ajusco durante esta época.

El tamaño poblacional obtenido con el método de Fisher-Ford, que estima la fracción no capturable de la población, mostró (una fracción no capturable de 125 individuos), con fluctuaciones evidentes a lo largo del estudio (22 a 62 individuos, $\bar{x} = 43$). La variación en la densidad fue semejante a la reportada por otros trabajos que utilizaron índices poblacionales para *N. alstoni* en la misma área de estudio (Chávez, 1988; Canela-Rojo, 1981; Sánchez-Hernández *et al.*, 1990; Sánchez-Cordero y Canela-Rojo, 1991). Lo cual permite sugerir que el método de Fisher-Ford es un buen estimador del tamaño poblacional y por lo tanto proporciona información confiable sobre la densidad.

En general se observa que la densidad poblacional alcanza su valor máximo en el mes de octubre (otoño) como consecuencia de la integración de los juveniles a la población (Rojas-Martínez, 1984; Sánchez-Hernández *et al.*, 1990), disminuye durante el invierno (diciembre-enero) probablemente por las bajas temperaturas y heladas que se presentan en esta época del año y a que la dispersión ha terminado (Sánchez-Cordero y Canela-Rojo, 1991), comenzando a incrementarse en la primavera (junio) cuando empieza la época reproductiva.

El patrón de fluctuación de la población de *N. alstoni* ha sido también observado en varias especies de ratones del género *Peromyscus* en las zonas templadas (Canela-Rojo y Sánchez-Cordero, 1984). Canela-Rojo y Sánchez-Cordero (1984) reportan para *N. alstoni* una densidad poblacional que varió de 54.8 ind/ha durante la primavera hasta 9.7 ind/ha durante el otoño-invierno. Rojas-Martínez (1984) señaló que el mayor porcentaje de capturas de *N. alstoni* ocurrió durante el otoño con el 21.8% y el menor durante el verano con el 11.23%. Sánchez-Hernández *et al.* (1990) en un estudio realizado durante seis años, registraron un tamaño poblacional que varió entre los 17 y los 65 ejemplares, observando máximos poblacionales durante los otoños y densidades mínimas durante los inviernos, presentando un patrón de fluctuación poblacional multianual, donde los valores máximos y mínimos de la densidad poblacional ocurren de manera poco predecible dependiendo de las temporadas de lluvias y secas. Sánchez-Cordero y Canela-Rojo (1991) en un estudio realizado entre 1978 y 1979, registraron la densidad más baja en el mes de octubre con (16 ind/ha) y la más alta en los meses de marzo-abril (57 ind/ha). Los estudios anteriores fueron realizados en el Ajusco y la variación en la densidad poblacional reportada por cada uno de ellos fue similar a la observada en el presente trabajo, sin embargo, contrastan con lo encontrado por Glendingg y Blower (1990), quienes reportan para *N. alstoni* una densidad menor a 10 ind/ha en un bosque de pinos en la Sierra Chincua en Michoacán.

En lo general las fluctuaciones observadas en la densidad poblacional de *N. alstoni*, probablemente están relacionadas con las variaciones del ambiente observadas en el Ajusco (temperatura y humedad), fenómeno que se ve reflejado en la cantidad, calidad y disponibilidad del alimento, cantidad y distribución de refugios, los cuales afectan el número y distribución de los individuos en el hábitat.

2. Estructura poblacional por edades

Durante todo el estudio se capturaron más adultos que juveniles, estos resultados coinciden con lo reportado en trabajos realizados en la misma zona en años anteriores (Sánchez-Hernández *et al.*, 1990; Canela-Rojo y Sánchez-Cordero, 1991).

La mayoría de los juveniles se colectaron a finales del verano (septiembre) y durante el otoño (octubre-diciembre) que corresponde a la época de gestación y lactancia. Chávez (1988) reporta la presencia de juveniles y subadultos desde finales de la primavera hasta finales de otoño y la ausencia de ellos durante el invierno, debido probablemente a la influencia de temperaturas extremas que contribuyen a la mortalidad de estos individuos.

Con base en el número estimado de juveniles presentes pero no colectados (calculados a partir de las hembras lactantes; *sensu* Sánchez-Hernández *et al.*, 1990), se observó que los individuos jóvenes fueron más numerosos que los adultos en el mes de septiembre, esto se explica porque por cada hembra y macho reproductivamente activos hay alrededor de tres crías. El procedimiento de Sánchez-Hernández *et al.* (1990) permite una aproximación aún más real para estimar al número de jóvenes que nace cada año, debido a que estos animales por su edad permanecen la mayor parte de su tiempo en las madrigueras por lo que no son susceptibles de ser capturados. Considerando que las hembras pueden tener hasta tres camadas por año (Williams *et al.*, 1985). Es bien conocido que en las temporadas de reproducción el número de jóvenes supera al de los adultos, particularmente en especies prolíficas como son los ratones, sin embargo esto no se percibe en el trampeo (Vaughan *et al.*, 2000). Después del mes de septiembre en la población vuelve a disminuir el número de jóvenes, porque tienden a dispersarse (Chávez, 1988), son depredados (Becerra-Jiménez, 2003) o se integran a la población adulta.

El comportamiento observado en la estructura de edades y el hecho de que haya un mayor número de adultos capturados, podría deberse a que los juveniles salen poco de las madrigueras y por tanto no están al alcance de las trampas (Becerra-Jiménez, 2003). Por otra parte cuando comienzan a salir son presa fácil de depredadores, así que su mortalidad es más alta que en los adultos (Pinson-Rincón, 1991; Romero-Almaraz, 1993; Becerra-Jiménez, 2003) y por lo tanto no se registran en las colectas. Chávez (1988) señala que en *N. alstoni* las bajas densidades de juveniles y subadultos capturados se deben probablemente a que constituyen una fracción de la población que emigra, comportamiento que también ocurre en el género *Peromyscus* (King, 1968). Es importante señalar que la abundancia temporal de jóvenes, como se observa en el verano y el otoño, puede considerarse como un indicador de que la población estudiada de *N. alstoni* se encuentra en buen estado con una población capaz de renovarse (Vaughan *et al.*, 2000) y que es una consecuencia de que las condiciones del hábitat en el que viven son favorables.

3. Proporción de sexos

En este trabajo, considerando al número total de individuos capturados a lo largo del estudio (jóvenes y adultos), se observó una proporción sexual de 1:1. Los resultados señalan una menor captura de machos durante las primeras colectas que correspondieron a la primavera y el verano (junio, julio y septiembre), sin embargo estas diferencias no fueron significativas ($\chi^2=0.96$, $p<0.05$, $gl=1$). Sánchez-Hernández *et al.* (1990) señalan que la variabilidad en la proporción sexual de la población (aunque no sea significativa estadísticamente) muy probablemente influye en el comportamiento reproductivo y en la densidad poblacional, porque la proporción de hembras afecta el sistema de apareamiento y un mayor número de ellas podría implicar un mayor número de nacimientos en la población, que se reflejaría en la densidad.

Canela-Rojo (1981) y Chávez (1988) en estudios realizados en la misma zona pero en años anteriores (1978-1984) encontraron la misma proporción sexual que en este estudio para *N. alstoni*, lo anterior indica que la proporción sexual ha permanecido estable por lo menos 10 años y que la proporción observada es real y no resultado del muestreo.

En cuanto a la proporción de sexos por edades, se encontró que en la etapa juvenil las hembras son más abundantes que los machos, pero estas diferencias no fueron significativas ($\chi^2=2.13$, $p<0.05$, $gl=1$). No obstante en varias especies de *Peromyscus* se ha observado que en etapas tempranas de edad la proporción sexual está sesgada hacia los machos (Kaufman y Kaufman, 1989). El sesgo en las capturas hacia las hembras juveniles (aunque las diferencias no sean significativas) puede deberse a que los machos jóvenes son expulsados o tienden a dispersarse por presión de los machos adultos (antagonismo), conducta que se ha observado en varias especies del género *Peromyscus* (Petticrew y Sadleir, 1974). También se podría deber a que las hembras tienen una mayor residencia o sobrevivencia a esta edad, o bien son más trampófilas que los machos (Becerra-Jiménez 2003). En la etapa adulta la proporción sexual también fue de 1:1 ($\chi^2=0.23$, $p<0.05$, $gl=1$), aunque Stickel (1968) y Terman (1968) mencionan que en la mayoría de las especies del género *Peromyscus* la proporción sexual está sesgada hacia los machos, esto lo explican porque los machos tienden a dispersarse más y por lo tanto son más propensos a ser capturados, sin embargo esta proporción no se observó en *N. alstoni*.

Krebs y Davies (1993) mencionan que sólo cuando la proporción de sexos es exactamente de 1:1 el éxito reproductivo esperado de un macho y de una hembra serán equivalentes, por lo que la población se mantendrá estable. La afirmación anterior puede explicar la constancia numérica de la población capturada y del tamaño poblacional reportado para la especie en otros trabajos realizados en la zona (Canela-Rojo, 1981; Sánchez-Hernández *et al.*, 1990; Sánchez-Cordero y Canela-Rojo, 1991), por lo que se puede concluir que *N. alstoni* mantiene una

población estable en el área de trabajo cercano a los 43 individuos según nuestros resultados. Este valor muy probablemente indica la capacidad de carga del ambiente (número máximo de individuos que puede soportar el ambiente), lo anterior implica que si la población excede la capacidad de carga, debe disminuir su densidad (lo cual ocurre al terminar el periodo de crianza), y cuando no se alcanza la densidad puede incrementarse (lo que ocurre después de la mortalidad invernal). Como resultado se generan fluctuaciones numéricas en la población a lo largo del tiempo, que oscilan alrededor de un número base de individuos (Smith, 1980; Begon *et al.*, 1996). La capacidad de carga está controlada por los requerimientos de la especie, como la cantidad y la calidad del alimento, los refugios, y la disponibilidad de espacio, así como por factores ambientales, tales como la humedad y la temperatura (Smith, 1980). Hasta ahora la capacidad de carga para *N. alstoni* no había sido considerada en trabajos anteriores.

4. Actividad reproductiva

La mayor actividad reproductiva se observó entre los meses de junio y julio de ambos años (1986 y 1987) coincidiendo con la época de lluvias, y la menor actividad desde finales del verano (septiembre) hasta el invierno.

En general se encontraron ejemplares reproductivos durante todo el estudio, lo que indica que la reproducción es continua pero fuertemente estacional. Las hembras receptivas se capturaron a lo largo de todo el trabajo, aunque su presencia disminuyó a partir del otoño llegando casi al 0% durante el invierno. En el caso de los machos reproductivos su presencia fue mayor a partir de la primavera en el primer año (1986) y su actividad disminuyó después del mes de junio (primavera), llegando a un 0% durante el invierno. Lo anterior coincide con lo observado por Sánchez-Hernández *et al.* (1990) y Sánchez-Cordero y Canela-Rojo (1991) quienes citan que *N. alstoni* tiene su máxima actividad reproductiva durante la primavera y el

verano. La estacionalidad se manifiesta porque en lugares como el Ajusco las condiciones más favorables con relación a la temperatura y la humedad se presentan desde abril hasta octubre (Sánchez-Hernández *et al.*, 1990). La humedad y las temperaturas más altas favorecen el crecimiento de la vegetación, por lo tanto en esta época existen fuentes de alimentación abundantes para sostener la gestación y la lactancia y favorecer el desarrollo de los jóvenes, lo que asegura el éxito reproductivo y la mayor supervivencia en la población.

La época reproductiva para *N. alstoni* observada en este trabajo, ocurre de junio a noviembre en los machos y de junio a diciembre en las hembras. Canela-Rojo y Sánchez-Cordero (1984) reportan que la actividad reproductiva se presenta desde marzo hasta noviembre en los machos y de marzo a diciembre en las hembras. Además observaron que el número de individuos juveniles capturados aumentó conforme la actividad reproductiva de los machos declinó, algo que también se observa en este trabajo. En relación a lo anterior, Petticrew y Sadleir (1974) proponen que durante el periodo reproductivo la densidad de machos adultos está regulada por las conductas antagonistas entre ellos, de igual forma estas conductas afectan la supervivencia y/o la migración de los juveniles, porque presentan una conducta agresiva hacia ellos, que los obliga a dispersarse hacia nuevos lugares. Por este motivo, al final de la temporada de reproducción el número de individuos que permanecen en el ambiente por unidad de área, es un reflejo de estas interacciones y de los recursos disponibles en el ambiente.

Sánchez-Cordero y Canela-Rojo (1991) resaltan que *N. alstoni* presenta variaciones en la duración de la época de reproducción, desde continua (Sánchez-Hernández *et al.*, 1990 y el presente estudio) hasta moderadamente estacional durante la época de lluvias, con cierta actividad reproductiva durante todo el año (Prieto, 1988; Gómez, 1989).

En general hay evidencias de que la reproducción en varias especies de *Peromyscus* ocurre durante la época de lluvias (Judd *et al.*, 1978; Sadleir, 1969; Vázquez *et al.*, 1999-2000) y esto

aparentemente es una respuesta a la mayor disponibilidad del alimento algo que coincide con lo observado en *N. alstoni*. Incluso algunos autores afirman que el género *Peromyscus* es muy sensible a las restricciones del alimento (Blank y Desjardins, 1984).

USO DEL ESPACIO Y ÁREA DE ACTIVIDAD

1. Uso del espacio

Los resultados muestran que la población de *N. alstoni* en su conjunto se distribuyen en el espacio de manera agrupada, es decir, los individuos se encuentran formando grupos, que es la forma más común en que los organismos habitan el ambiente (Smith y Smith 2000). Esto se puede explicar principalmente porque el ambiente en el que se realizó este trabajo es heterogéneo, por lo tanto, hay diferencias en la calidad del hábitat, misma que afecta la supervivencia de los individuos. Además por las características de la conducta social, derivadas de las interacciones sociales cotidianas y de las que se derivan durante los periodos de apareamiento y crianza. En el área de estudio *N. alstoni* se agrupa en ciertos lugares de su ambiente debido a que la calidad de los mismos es heterogénea y también aparentemente a que es una especie social que forma pequeños grupos emparentados.

Asociación entre sexos

Se observó que existe una asociación positiva entre los individuos adultos de ambos sexos, lo que implica que la presencia de hembras en un lugar, aumenta la probabilidad de que se puedan capturar machos. En este trabajo se observó una mayor frecuencia de sitios donde se capturaron ambos sexos, que lugares donde sólo se capturaron individuos de un sólo sexo. Esto es importante para entender el sistema de apareamiento de *N. alstoni*, porque significa que los machos y las hembras adultos cohabitan en su ambiente. Lo cual a su vez sugiere la existencia de sistemas de apareamiento estables, donde la proporción de sexos y la distribución del espacio

habitable entre machos y hembras (arreglo espacial, preferencia de hábitat, AA) sugiere un sistema de apareamiento polígamo, donde las AA de los machos son más grandes que las de las hembras y en promedio el AA de un macho de *N. alstoni* incluye 4.4 AA de hembras. En este sistema las AA de las hembras están agregadas en lugares donde predomina el zacatonal, y los machos adultos se establecen en los alrededores de esta vegetación, por lo que aparentemente los machos pueden tener contacto con varias hembras adultas (Vaughan *et al.*, 2000).

Davis y Murie (1985) sugieren que la distribución espacial de los recursos (incluidas las hembras) es un factor ecológico importante que puede influir en la forma de los sistemas de apareamiento. Clutton-Brock (1989) indica que cuando se concentran las hembras en ciertos sitios los machos sacan provecho apareándose con varias de ellas (poligamia) aumentando su éxito reproductivo, por lo cual muchas veces los machos adultos luchan entre ellos (competencia macho-macho) para tener acceso a las hembras y a estos sitios periféricos.

Preferencia de microhábitat

La población de adultos de *N. alstoni* mostró una marcada preferencia de microhábitat por la pradera, seguida por el zacatonal, después el ecotono bosque-pradera, el bosque-zacatonal y por último el bosque. Estos resultados contrastaron con lo reportado por Rojas-Martínez (1984) en el mismo sitio de muestreo para *N. alstoni*, porque en su estudio la especie mostró preferencia por el zacatonal seguida del ecotono bosque-zacatonal y el bosque, pero no analizó las preferencias por sexos. En general se obtuvieron diferencias significativas en la preferencia del microhábitat ($\chi^2=16.78$, $p<0.05$, $gl=4$) entre los sexos de *N. alstoni*, sin embargo el método aplicado (χ^2) no permitió identificar en qué microhabitats se encuentran estas diferencias. Las hembras fueron más abundantes en el zacatonal; en la pradera las diferencias entre el número de hembras y machos presentes fueron mínimas, mientras que en el ecotono bosque-pradera, bosque-zacatonal y el bosque los machos fueron más numerosos. Para esta especie se considera

que el hábitat preferente y óptimo para su crecimiento, desarrollo y reproducción es el zacatonal (Rojas-Martínez, 1984; Williams *et al.*, 1985; Chávez, 2005), por lo que es importante señalar que la mayoría de los individuos encontrados en este microhábitat fueron hembras, lo que podría tener implicaciones importantes en la población, debido a que al tener un mayor gasto energético durante la reproducción, requieren de habitar lugares con alta calidad, dejando a los machos y a los juveniles en lugares de menor calidad. Quintero y Sánchez-Cordero (1989) sugieren que las hembras reproductivas establecen sus AA en microambientes con alta disponibilidad de alimento para cubrir las altas demandas energéticas que implica la reproducción. El zacatonal podría ofrecer mayor cantidad de alimento (o por lo menos de mayor calidad), protección contra bajas temperaturas y heladas (Chávez, 1988) y buen refugio contra los depredadores, comparándolo con los otros tipos de microhábitat (Rojas-Martínez, 1984). Probablemente en el zacatonal hay menos competencia interespecífica con otros roedores, porque se ha documentado que *P. melanotis* prefiere sitios arbolados, *R. megalotis* (que es un ratón muy pequeño) puede habitar tanto en la pradera, como en el zacatonal y en el bosque, mientras que *P. maniculatus* prefiere la pradera y en segundo lugar el zacatonal (Rojas-Martínez, 1984). Es importante mencionar que las especies señaladas se encuentran asociadas a *N. alstoni* y por lo general se registran en menor densidad, siendo en todos los casos la especie dominante *N. alstoni* (Rojas-Martínez, 1984; Chávez, 1988; Sánchez-Cordero y Canela-Rojo, 1991).

La división intraespecífica del hábitat entre machos y hembras no había sido estudiada en *N. alstoni*, pero ha sido observada en varias especies de mamíferos incluidos roedores como; *P. maniculatus* (Bowers y Smith, 1979) y *P. leucopus* (Morris, 1984). Porque las hembras son frecuentemente las que proporcionan un mayor cuidado parental a las crías, con relación a los machos, lo que puede resultar en el uso diferencial del espacio (Bond y Wolf, 1999). Bowers y

Duane-Smith (1979) citan que la división del hábitat entre los sexos disminuye la competencia entre ellos, permitiendo designar más energía a la reproducción y a la supervivencia.

Litvaitis (1990) menciona que el uso del microhábitat en la liebre *Lepus americanus* puede estar influenciada en parte, por los diferentes requerimientos de hábitat de cada sexo, por lo que las hembras requieren lugares con mayor abundancia de alimento para satisfacer la demanda energética que requiere la reproducción, mientras que los machos tienen requerimientos nutricionales más bajos y pueden ocupar una gran variedad de hábitats.

La separación de las áreas de forrajeo entre los sexos, debido a sus diferentes requerimientos energéticos, no sólo trae beneficios para cada uno de ellos, debido a que evita la competencia por los recursos, sino que beneficia en general a la población porque el éxito reproductivo y la supervivencia aumentan. Es posible sugerir que en la población de *N. alstoni* las diferencias en el microhábitat favorecen a las hembras y por lo tanto a la especie.

2. Área de actividad

El área de actividad de *N. alstoni* tuvo grandes fluctuaciones. Las hembras en promedio (907.3 m²) tuvieron AA menores que los machos (1,270 m²) y las diferencias observadas fueron significativas (U=52, p<0.05). Las áreas de actividad medidas, señalan la ubicación de los adultos residentes, y se observó que las AA para ambos sexos se concentraron en la pradera y el zacatonal. Canela-Rojo y Sánchez-Cordero (1984) encontraron que el tamaño del AA de *N. alstoni* es mayor durante el verano con 3,193 m² y disminuye en el otoño-invierno hasta 564 m². También reportan que hay una relación entre las AA y la condición reproductiva, es decir, a mayor actividad reproductiva corresponde un AA mayor. En ambos sexos las mayores dimensiones de las AA se presentaron entre la primavera y el verano y las menores en otoño-

invierno pero las AA de las hembras en general fueron menores que las de los machos (Canela-Rojo y Sánchez-Cordero, 1984).

Lo anterior se ha observado en varias especies del género *Peromyscus* (Mineau y Madison, 1977; O'Farrell, 1978; Ribble-Stanley, 1998) y en otros géneros de roedores (Ortega 1990; Bertolino *et al.*, 2003; Hernández-Betancourt, *et al.*, 2003). Algunos autores mencionan que el tamaño del AA de los machos está relacionado con la distribución de las hembras, mientras que el AA de las hembras se establece en respuesta de la disponibilidad de alimento y los refugios (Ostfeld 1986; Bond y Wolf, 1999). Aunque también se señala que la condición reproductiva está relacionada con el tamaño del AA de los individuos adultos, porque asegura el cumplimiento de los compromisos energéticos y conductuales que presentan en sus actividades reproductivas (Canela-Rojo y Sánchez-Cordero 1984; Quintero y Sánchez-Cordero, 1989; Ortega, 1990; Hernández- Betancourt *et al.*, 2003).

Por lo anterior se puede decir que el sexo es un factor importante que influye en el tamaño del AA en *N. alstoni* y en el uso del hábitat. Lo anterior también determina que otros factores como la densidad poblacional, las interacciones intraespecíficas y la distribución de los individuos en el espacio habitable se ajusten a un máximo que puede ser la capacidad de carga del sistema. En este trabajo la presencia de diez hembras y siete machos residentes, pueden representar el número mínimo de individuos necesarios para mantener la estructura poblacional estable a través del tiempo.

Es relevante comentar que a pesar de que los resultados corresponden a un escenario de hace 20 años, forma parte de la información que se ha generado en el mismo lugar durante 10. Por lo tanto, se puede afirmar que los resultados presentados son representativos de cualquier otro lugar que cuente con condiciones ambientales similares en el Cerro del Ajusco. Independientemente, el trabajo resalta la utilidad del estudio del uso del espacio y de las

interacciones intraespecíficas para comprender como la organización social, los sistemas de apareamiento, la preferencia y la división del hábitat son componentes importantes de los estudios demográficos relacionados a la conservación de las especies (Farias *et al.*, 2006; Schooley y Branch, 2006).

Asimismo, aunque se han realizado numerosas investigaciones sobre *N. alstoni*, es necesario continuar con los estudios poblacionales y conductuales de largo plazo, que nos permitan conocer y comprender el comportamiento de los animales en su medio natural, no sólo en el caso de especies endémicas, sino porque el Ajusco es un sitio muy perturbado que ha cambiado notablemente en los últimos años, lo cual resalta la importancia de contar con información a largo plazo para evaluar el efecto que tienen las alteraciones humanas en las poblaciones de este roedor y en general de los mamíferos de México.

8. CONCLUSIONES

- Este trabajo es el primero en resaltar la importancia de la interacción macho-hembra con relación al uso del espacio y a la dinámica poblacional de la población de *N. alstoni*.

- Se observó que el sexo es un factor importante que influye en el tamaño del AA y en el uso del hábitat, esto se debe probablemente a las diferencias en los requerimientos energéticos de machos y hembras y a los costos que tiene la reproducción

- *Neotomodon alstoni* mostró valores de densidad similares a los reportados por otros trabajos en la misma zona desde hace varios años, lo que indica que la población se ha mantenido estable por lo menos durante 10 años.

- Durante todo el estudio fueron más abundantes en las capturas los adultos que los juveniles, sin embargo, estacionalmente los jóvenes superan a los adultos, lo cual asegura la permanencia de la especie en su ambiente.

- La proporción sexual de la población fue de 1:1, como trabajos anteriores lo mencionan, lo que indica que la población permanece estable.

- La reproducción en *N. alstoni* es continua pero fuertemente estacional, tuvo su máxima actividad en primavera-verano y la mínima en otoño-invierno, esto se ha relacionado con las condiciones ambientales que influyen en la disponibilidad de alimento y el clima, fenómenos que se ven reflejados en la fluctuación poblacional a lo largo del estudio.

- En el área de estudio *N. alstoni* se distribuyó en el espacio de manera agrupada, debido a que es una especie social que forma pequeños grupos emparentados y en respuesta a un ambiente heterogéneo, ocupando los microhábitats más favorables (zacatonal y pradera).

- El AA de los machos fue mayor que el de las hembras, observándose una gran sobreposición entre las AA de machos y con las AA de las hembras. Las de los machos

incluyeron varias AA de hembras, lo que sugiere (junto con la proporción sexual) que *N. alstoni* tiene un sistema de apareamiento polígamo.

- Se encontró que hay una asociación positiva en el espacio entre los machos y las hembras adultas.

- Se observaron diferencias en la preferencia del microhábitat entre los sexos de *N. alstoni*. Las hembras fueron más abundantes en el zacatonal, que es considerado el óptimo para la especie. En la pradera las diferencias entre el número de hembras y machos presentes fueron mínimas, mientras que en el ecotono bosque-pradera, bosque-zacatonal y en el bosque los machos fueron más numerosos.

- La densidad poblacional no sólo está determinada por la abundancia de recursos y el ambiente habitable, sino también por las interacciones que se establecen entre los individuos y la subdivisión del ambiente que genera esta interacción.

Literatura citada

- Álvarez, T y E. Mayo-Aceves.** 1993. Contribución al conocimiento de los hábitos alimentarios del ratón de los volcanes, *Neotomodon alstoni* (Merriam, 1898). *Act. Zool. Mex.*, 59: 1-51.
- Aranda, J.M., C. Martínez del Río Méndez, C. Colmenero Rolan y V.M. Magallón Solórzano.** 1980. *Los mamíferos de la Sierra del Ajusco*. Comisión Coordinadora para el Desarrollo Agropecuario del Departamento del Distrito Federal. México, D.F. 146 p.
- Becerra-Jiménez, C.N.** 2003. *Biología poblacional de Liomys pictus (Rodentia: Heteromyidae) en el Parque Nacional Huatulco, Oaxaca*. Tesis profesional. Fac. de Estudios Superiores, Iztacala, UNAM. México.
- Begon, M.** 1979. Investigating Animal Abundance: capture-recapture for biologists. University Park Press. Great Britain, 97 p.
- Begon, M., J.L. Harper y C.R. Townsend.** 1996. *Ecology, Individuals, Populations and Communities*. Blackwell Scientific Publications, 1068 p.
- Benítez, G.** 1986. *Árboles y Flores del Ajusco. Instituto de Ecología Museo de Historia Natural de la Ciudad. de México*. México, 183 p.
- Bertolino, S., N. Cordero e I. Currado.** 2003. Home range and habitat use the garden deer mouse (*Eliomys quercinus*) in a mountain habitat in summer. *Act. Zool. Hung.*, 49: 11-18.
- Blank, J.L. y C. Desjardins.** 1984. Spermatogenesis is modified by food intake in mice. *Biol. Reprod.*, 30: 410-415.
- Boellstorff, D.E. y D.H. Owings.** 1995. Home range, population structure, and spatial organization of California ground squirrels. *J. of Mammal.*, 76 (2): 551-561.
- Bond, M.L. y J.O. Wolf.** 1999. Does access to females or competition among males limit male home-range size in a promiscuous rodent?. *J. of Mammal.*, 80 (4): 1243-1250.
- Bowers, M.A. y H. Duane-Smith.** 1979. Differential habitat utilization by sexes of the deer mouse, *Peromyscus maniculatus*. *Ecology*, 60 (5):869-875.
- Brows, J.L. y G.H. Orians.** 1970. Spacing patterns in mobile animals. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 1: 239-262.
- Burt, W.H.** 1943. Territoriality and home range concepts as applied to mammals. *J. of Mammal.*, 24: 346-352.
- Chávez, C.B.** 1988. *Diversidad y comportamiento poblacional de una comunidad de roedores de la Sierra del Ajusco, México*. Tesis Doctoral. Fac. de Ciencias, UNAM. México.

- Chávez, C.B.** 2005. *Neotomodon alstoni* Merriam, 1898. En: Ceballos G. y G. Oliva (eds). *Los Mamíferos Silvestres de México*. Conabio, Fondo de Cultura Económica. México, D.F., p. 699-701.
- Camarillo, J.L.,** J.L. Andrade, E. Kato, J. Rivera. 1991. *Manejo cuantitativo de vertebrados terrestres*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 53 p.
- Canela-Rojo, M.A.** 1981. *Ámbito hogareño del ratón de los volcanes Neotomodon alstoni (Rodentia: Cricetinae) en la Sierra del Ajusco, México*. Tesis profesional. Fac. de Ciencias, UNAM. México
- Canela-Rojo, M.A.** y V. Sánchez-Cordero. 1984. Patrón del área de actividad de *Neotomodon a. alstoni* (Rodentia: Cricetinae). *Anal. Inst. Biol. UNAM Ser. Zool.*, 55 (2): 285-306.
- Ceballos, G.** y L. Galindo. 1984. *Mamíferos silvestres de la Cuenca de México*. Ed. Limusa. México, 299 p.
- Clutton-Brock, T.H.** 1989. Mammalian mating systems. *Proc. Royal Soc. London B.*, 236: 339-372.
- Conanp** (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2006. *Cumbres del Ajusco, Zempoala y Tepozteco, Parques Nacionales*. <http://www.conanp.gob.mx>.
- Corbalán, V.E.** y R.A. Ojeda. 2005. Áreas de acción en un ensamblaje de roedores del desierto del Monte (Mendoza, Argentina). *Mastozoología tropical*, 12 (2): 145-152.
- Davis, L.S.** y J.O. Murie. 1985. Male territoriality and the mating system of richardson's ground squirrels (*Spermophilus richardsonii*). *J. of Mammal.*, 66 (2): 268-279.
- Davis, W.B.** y L.A. Follansbee. 1945. The Mexican volcano mouse *Neotomodon*. *J. of Mammal.*, 26 (4): 401-411.
- Delany, M.J.** 1981. *Ecología de los Micromamíferos*. Ediciones Omega. Barcelona, España, 64 p.
- Erlinge, S.,** I. Hoogenboom, J. Agrell, L. Nelson, y M. Sandell. 1990. Density-Related home-range size and overlap in adult field voles (*Microtus agrestis*) in Southern Sweden. *J. of Mammal.*, 71 (4): 597-603.
- Esquivel, M.P.** 1975. *Estudio de la musculatura craneal y cervical en el ratón de los volcanes Neotomodon alstoni (Merriam, 1898)*. Tesis Profesional. Fac. de Ciencias, UNAM. México.
- Estrada, L.E.** 1978. *Estudio sobre la reproducción del ratón de los volcanes Neotomodon alstoni silvestre y nacido en el laboratorio (F1 y F2)*. Tesis Profesional. Fac. de Ciencias, UNAM. México.

- Farías, V.**, T.K. Fuller, F.A. Cervantes y C. Lorenzo. 2006. Home range and social behaviour of the endangered Tehuantepec jackrabbit (*Lepus flavigularis*) in Oaxaca, México. *J. of Mammal.*, 87 (4): 748-756.
- Gentile, R.**, P.S. D'Andrea y R. Cerqueira 1997. Home ranges of *Philander frenata* and *Akodon cursor* in a Brazilian restinga (coastal shrub land). *Mastozoología Neotropical*, 4: 105-112.
- Glendinning, J.I.** y L.P. Broker. 1990. Feeding and breeding responses of mice species to overwintering aggregations of the monarch butterfly. *J. Anim. Ecol.*, 59: 1091-1112.
- Gómez, U.R.** 1989. *Efectos de "Fuegos controlados sobre la ecología de las poblaciones de pequeños roedores en un pastizal alpino en la Cima, D.F. México.* Tesis profesional. ENEP-Zaragoza. UNAM. México.
- Guzmán, G.L.** 1969. *Variación ontogénica de los molares del ratón de los volcanes Neotomodon alstoni (Rodentia: Cricetinae).* Tesis profesional. Fac. de Ciencias, UNAM. México.
- Hall, E.R.** 1981. *The mammals of North America.* Second ed. Willy-Interscience. New York, Vol 1.
- Hernández-Betancourt, S.F.**, R. López-Wilchis, J.A. Cimé-Pool y S. Medina-Peralta. 2003. Área de actividad, movimiento y organización social de *Heteromys gaumeri*, Allen y Chapman, 1897 (Rodentia: Heteromyidae) en una selva mediana subcaducifolia de Yucatán, México. *Act. Zool. Mex.*, 90: 77-91.
- Hoth, K.J.** 1986. *Estudio sobre tres sistemas de apareamiento del ratón de los volcanes (Neotomodon a. alstoni) silvestre en el laboratorio.* Tesis profesional. Fac. de Ciencias, UNAM. México.
- Judd, F.W.**, J. Herrera y M. Wagner. 1978. The relationship between lipid and reproductive cycles of a subtropical population of *Peromyscus leucopus*. *J. of Mammal.*, 59 (4): 669-676.
- Kaufman, D.W.** y G.H. Kaufman. 1989. Population biology. *En: Kirland, G. y J.N. Layne (eds). Advances in the study of Peromyscus (Rodentia).* Texas Tech University Press. E.U.A., 233-270 p.
- Krebs, C.J.** 1985. *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance.* 3ª edición. Harper and Row. New York, E.U.A., 800 p.
- Krebs, J.R.** y N. D. Davies. 1993. *An introduction to Behavioral Ecology.* Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- King, J.A.** 1968. *Biology of Peromyscus (Rodentia).* American Society Mammalogist, Special Publication No. 2. The American Society of Mammalogist, 593 p.

- Litvaitis, J.A.** 1990. Differential habitat use by sexes of snowshoe hares (*Lepus americanus*). *J. of Mammal.*, 71 (4): 520-523.
- Luis, J., A. Carmona, J. Delgado, F.A. Cervantes y R. Cárdenas.** 2000. Parental behavior of the volcano mouse, *Neotomodon alstoni* (Rodentia: Muridae) en cautiverio. *J. of Mammal.*, 81: 600-605.
- Luis, J., F.A. Cervantes, M. Martínez, R. Cárdenas, J. Delgado y A. Carmona.** 2004. Male influence on maternal behavioral and offspring of captive volcano mice (*Neotomodon alstoni*) from México. *J. of Mammal.*, 85: 268-272.
- Martín, F.E.** y S. Ticúl-Álvarez. 1982. Crecimiento y Desarrollo en el laboratorio de *Neotomodon alstoni* (Rodentia: Cricetidae). *An. Esc. Nal Cienc. Biol. Mex.*, 26: 55-84.
- Merrian, C.H.** 1898. A new genus (*Neotomodon*) and three species of murine rodents from the mountains of Southern Mexico. *Proc. Biol. Soc. Washington*, 12:127-129.
- Millar, J.S.** 1975. Tactics of energy partitioning in breeding *Peromyscus*. *Can. J. Zool.*, 53: 967-976.
- Mineau, P.** y D. Madison. 1977. Radio-tracking of *Peromyscus leucopus*. *Can. J. Zool.*, 91: 273-281.
- Montoya, C.G.** 1978. *Morfología del aparato reproductor masculino de Neotomodon alstoni Merriam 1898 (Mammalia:Cricetinae)*. Tesis profesional. Fac. de Ciencias, UNAM.
- O'Farrell, M.J.** 1980. Spatial relationships of rodents in a sagebrush community. *J. of Mammal.*, 61 (4): 589-605.
- Olivera, J., J. Ramírez-Pulido y S.L. Williams.** 1986. Reproducción de *Peromyscus (Neotomodon) alstoni* (Mammalia: Muridae) en condiciones de laboratorio. *Act. Zool. Mex.*, 16:1-27.
- Orr, R.T.** 1971. *Biología de los vertebrados*. Ed. Interamericana, S.A. México, 545 p.
- Ortega, J.C.** 1990. Home-range size of adult rock squirrels (*Spermophilus variegatus*) in southeastern Arizona. *J. of Mammal.*, 71(2): 171-176.
- Ostfeld, R.S.** 1986. Territoriality and mating system of California voles. *J. of Animal Ecol.*, 55: 691-706.
- Petticrew, B.C.** y R.M.F.S. Sadleir. 1974. The ecology of deer Mouse *Peromyscus maniculatus* in a coastal coniferous forest. I Population dynamics. *Can. J. Zool.*, 52: 107-118.
- Pinson-Rincón, M.E.** 1991. *Comportamiento reproductivo en P. melanotis en el Cerro del Ajusco*. Tesis Profesional. Fac. de Ciencias, UNAM. México.

- Prieto, B.M.** 1988. *Hábitos alimenticios de tres especies de roedores cricétidos*. Tesis de Maestría. Fac. de Ciencias, UNAM. México.
- Quintero, G.** y V. Sánchez-Cordero., 1989. Estudio del área de actividad de *Heteromys desmarestianus* (Rodentia:Heteromyidae) en una selva alta perennifolia. *Anal. Inst. Biol. UNAM Ser. Zool.*, 60 (2): 223-240.
- Ravinovich, J.E.** 1982. Introducción a la ecología de poblaciones animales. CECSA. México.
- Ribble, D.** 2006. *The Volcano Mouse (Neotomodon alstoni)*. <http://www.trinity.edu/dribble/VolcanomousePage.htm>.
- Ribble, D.O.** y S. Stanley. 1998. Home ranges and social organization of syntopic *Peromyscus boylii* and *P. truei*. *J. of Mammal.*, 35: 1-15.
- Rodríguez-Romero, F.,** M. Uribe-Alcocer y A. Laguarda-Figueras. 1975. Chromosome analysis of *Neotomodon alstoni perotensis*. *Mamm. Chromosome Newsl.*, 16: 117-119.
- Rojas-Martínez, A.E.** 1984. *Descripción del microhábitat de cinco especies de ratones de la Sierra del Ajusco*. Tesis profesional. Fac. de Ciencias, UNAM. México.
- Romero-Almaraz, M.L.** 1993. *Biología de Liomys pictus*. Tesis Doctoral. Fac. de Ciencias, UNAM. México.
- Sadleir, R.M.F.S.** 1969. *The ecology of reproduction in wild and domestic mammals*. Methuen and Co. LTD London, 317 p.
- Sánchez-Cordero, V.** y M. Canela-Rojo. 1991. Estudio poblacional de roedores en un bosque de pino del Eje Neovolcánico Transversal mexicano. *Anal. Inst. Biol. UNAM Ser. Zool.*, 62 (2): 319-340.
- Sánchez-Hernández, C.,** A.E. Rojas-Martínez y C.B. Chavéz-Tapia. 1990. Fluctuación de población de *Neotomodon alstoni alstoni* (Rodentia: Cricetinae) en la Sierra del Ajusco, México. 105-116 p. *En: Gio-Argáez, R., I. Hernández-Ruiz y E. Sainz-Hernández (eds). Ecología Urbana*. Sociedad Mexicana de Historia Natural, volumen especial. México, D.F, 220 p.
- Schooley, R.L.** y L.C. Branch. 2006. Space use by round-tailed muskrats in isolated wetlands. *J. of Mammal.*, 87 (3): 495-500.
- Smith, R.L.** 1980. *Ecology and Field Biology*. Harper & Row, Publishers. E.U.A., 835 p.
- Smith, R.L.** y T.M. Smith. 2000. *Ecología*. Addison Wesley Longman, Inc. España, 642 p.
- Stickel, L. F.** 1968. Home range and travels. 373-411 p. *En: King, J.A. (ed). Biology of Peromyscus (Rodentia)*. American Society Mammalogist, Special Publication No. 2. The American Society of Mammalogist, 593 p.

- Terman, C. R.** 1968. Population dynamics. 412-450 p. *En: King, J.A. (ed). Biology of Peromyscus (Rodentia)*. American Society Mammalogist, Special Publication No. 2. The American Society of Mammalogist, 593 p.
- Trivers, R.L.** 1972. Parental investment and sexual selection, 136-179, *En: Sexual selection and the descent of man*. 1871-1971 (B. Campbell, ed) Aldine Chicago.
- Uribe, M., A. Laguarda y J. Romero.** 1973. Chromosome analysis and meiotic behaviour of *Neotomodon alstoni*. *Mamm. Chromosome Newsl.*, 14: 12.
- Uribe, M., A. Laguarda, J. Romero, J. Paulette y S. Sclagia de Paulette.** 1974. Cytogenetic analysis of *Neotomodon alstoni*. *Cytologia*, 38: 437-442.
- Vaughan, T.A., J.M. Ryan y N.J. Czaplewski.** 2000. *Mammalogy*. Thomson Learning Inc. E.U.A., p: 328-474
- Vázquez, L.A.** 1979. *Contribución al conocimiento del área de actividad, densidad de población y actividad reproductora de Microtus mexicanus (Rodentia: Muridae) en la Sierra del Ajusco, México*. Tesis Profesional. Fac. de Ciencias, UNAM. México.
- Vázquez, L.B., G.N. Cameron y R.A. Medellín.** 1999-2000. Hábitos alimentarios y biología poblacional de dos especies de roedores en el occidente de México. *Rev. Mex. de Mastozoología*, 4: 5-21.
- Williams, S.L. y J. Ramírez-Pulido.** 1984. Morphometric variation in the volcano mouse, *Peromyscus (Neotomodon) alstoni* (Mammalia: Cricetinae). *Ann. Carnegie Mus.*, 53:163-183.
- Williams, S.L., J. Ramírez-Pulido y R.J. Baker.** 1985. *Peromyscus alstoni*. *Mamm. Species* No.242. p. 1-4.
- Zarco, P.B.L.** 1981. *Estudio sobre el crecimiento del ratón de los volcanes (Neotomodon alstoni) nacido en el laboratorio (F1 y F2)*. Tesis Profesional. Fac. de Ciencias, UNAM. México.