



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Instituto de Biología

VARIACIÓN ESTACIONAL EN LA PRODUCCIÓN DE
MONTÍCULOS DE TIERRA DE *Cratogeomys merriami* y
Thomomys umbrinus (RODENTIA: GEOMYIDAE)
EN TRES HÁBITATS DE MILPA ALTA, D. F.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)**

P R E S E N T A

MARCELA AQUINO CAMACHO

DIRECTOR DE TESIS: DR. FERNANDO A. CERVANTES REZA

MÉXICO, D. F.

Agosto 2006.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo otorgado mediante la beca crédito con número de registro 158242.
- A la Dirección General de Estudios de Posgrado de la UNAM (DGEP), por el apoyo otorgado mediante una beca complementaria.
- Al Director de tesis Dr. Fernando A. Cervantes, por su relevante asesoría y apoyo para la realización de este trabajo.
- A los integrantes de mi comité tutorial: Dra. Alondra Castro Campillo y el Dr. Rodolfo Dirzo Míñarez, por su valiosa contribución durante el desarrollo del proyecto y en las revisiones del manuscrito final.
- A mis compañeros de trabajo; que siempre tuvieron el buen animo y las ganas para trabajar en el campo: Elizabeth Sandoval, Biól. Nahú Ramírez, Biól. Salvador Ramírez, Patricia Campos, Ernestina Caamaño, Pablo Ramírez, Romeo, Biól. Enrique Chon, M. en C. Samuel Flores, M. en C. Carmen Villegas, M. V. Z. Esteban Aquino, Alicia Aquino, Elvira Aquino, Félix Aquino, Álvaro Olmos, José, José Juan, Ixtzel Baca, Guadalupe Hernández, Jesús Fernández.
- Al joven Pablo, encargado del campamento del Tulmiac, por autorizar nuestra estancia en su cabañita.
- A la M. en C. Yolanda Hortelano y M. en C. Julieta Vargas, por su apoyo y asesoría para la preparación e identificación de los ejemplares de tuzas.

DEDICATORIA

- A la vida maravillosa, a la naturaleza inmensa, a Dios ¡ya creo que existes!.
- A mis padres, porque gracias a ellos he vivido esta gran experiencia, los admiro y los adoro.

- A mis dos motivos de vida: Maximiliano y Santiago, los amo, va por ustedes.
- A mi amor y compañero, por darme esa familia hermosa y por tu apoyo, mil gracias.

- A mis hermanos Elvira, Alicia y Félix por creer en mi; y porque creo en ustedes, los quiero.
- A la bella familia Estúa Acosta, que me acogió y me adoptó como hija durante mi estancia en el Distrito Federal: Sra. Ceci, Monina, Gibrán, Ceci y Don Panchito, los extraño y quiero.

- Al Dr. Fernando Cervantes, por abrirme las puertas a nuevas enseñanzas; y por dar pauta a mi desarrollo académico, mil gracias.
- Al Dr. Bernardo Villa, por permitirme compartir su entereza y conocimiento, para usted mi admiración.

- A la Dra, Bety Villa; por su consideración y por compartir conmigo el interés por las tuzas.
- A las maestras Yolanda Hortelano y Julieta Vargas, por su gran amistad, confianza y apoyo durante mi estancia en la colección de mamíferos, para ustedes mi cariño y respeto.

- A mis amigos del laboratorio de mamíferos, más que compañeros; crearon un ambiente cordial y familiar durante mi estancia en el IBUNAM: Irelia, Nahú, Salvador, Jesús, Helxine, Lázaro, Martha, Paty, Claudia, Elizabeth, Nicolás, Romeo, Oscar, Mario, Alejandro, Lupita, Verónica, Adriana, Pablo, Gloria, Itzel, Yola, Julieta, ¡gracias mastozoólogos!.
- A la gente que conocí durante la maestría y que llegué a estimar: Don Memo, Eva, Jorge, Arturo, Esther, Rocío, Memo, Mari Tere, Lidia, Raúl, Mark, David, Jess.

A todos muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL -----	I
AGRADECIMIENTOS -----	II
DEDICATORIA -----	III
RESUMEN -----	IV
ÍNDICE DE CUADROS -----	V
ÍNDICE DE FIGURAS -----	VI
INTRODUCCIÓN -----	1
OBJETIVOS -----	8
HIPÓTESIS -----	9
ÁREA DE ESTUDIO -----	10
MATERIALES Y MÉTODOS -----	13
Trabajo de campo -----	13
Cuadrantes -----	13
Determinación de la producción y distribución de los montículos de tierra -----	16
Estimación de la cobertura vegetal -----	16
Determinación de la humedad del suelo -----	17
Estacionalidad de la actividad excavadora -----	18
Análisis de Datos -----	19
1.- Estadística univariada -----	19
2.- Estadística multivariada -----	20
3.- Estadística no paramétrica -----	21
RESULTADOS -----	22
Actividad excavadora en los tres hábitats -----	22
Características del hábitat y actividad excavadora -----	23
Bosque de pino-encino -----	23
Cultivo de avena -----	29
Pastizal inducido -----	33
Estacionalidad y actividad excavadora -----	38
Distribución de los montículos de tierra -----	44
DISCUSIÓN -----	46
Actividad excavadora en los tres hábitats -----	46
Características del hábitat y actividad excavadora -----	49
Estacionalidad y actividad excavadora -----	51
Distribución de los montículos de tierra -----	53
Consideraciones finales sobre la importancia ecológica de las tuzas -----	54
CONCLUSIONES -----	57
LITERATURA CITADA -----	58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Página
1.-	Diferencias en la actividad excavadora de las tuzas <i>Cratogeomys merriami</i> y <i>Thomomys umbrinus</i> , de acuerdo al tipo de hábitat en Milpa Alta, D. F. -----	22
2.-	Análisis de Componentes Principales de las variables que influyen en la actividad excavadora de las tuzas <i>Cratogeomys merriami</i> y <i>Thomomys umbrinus</i> dentro del bosque en Milpa Alta, D. F. -----	25
3.-	Análisis de Componentes Principales de las variables que influyen en la actividad excavadora de las tuzas <i>Cratogeomys merriami</i> y <i>Thomomys umbrinus</i> dentro del cultivo de avena en Milpa Alta, D. F. -----	30
4.-	Análisis de Componentes Principales de las variables que influyen en la actividad excavadora de las tuzas <i>Cratogeomys merriami</i> y <i>Thomomys umbrinus</i> dentro del pastizal inducido en Milpa Alta, D. F. -----	34
5.-	ANOVA de la comparación entre hábitats, sobre la actividad excavadora de las tuzas <i>Cratogeomys merriami</i> y <i>Thomomys umbrinus</i> , durante las épocas húmeda y seca en Milpa Alta, D. F. -----	38
6.-	Comparación mensual de la actividad excavadora de las tuzas <i>Cratogeomys merriami</i> y <i>Thomomys umbrinus</i> en los diferentes habitats de Milpa Alta, D. F. -----	40
7.-	Comparación de la actividad excavadora de las tuzas <i>Cratogeomys merriami</i> y <i>Thomomys umbrinus</i> , en cada tipo de hábitat de acuerdo con la época húmeda y seca en Milpa Alta, D. F. -----	43
8.-	Patrón de distribución de los montículos de tierra producidos por la actividad excavadora de las tuzas <i>Cratogeomys merriami</i> y <i>Thomomys umbrinus</i> en Milpa Alta, D. F., en cada tipo de hábitat -----	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.		Página
1.-	Ejemplares de tuza A) <i>Cratogeomys merriami</i> y B) <i>Thomomys umbrinus</i> de Milpa Alta, D. F. -----	2
2.-	Figura 2. Montículos de tierra formados por la actividad excavadora de las tuzas (Geomyidae) en Milpa Alta, D. F. -----	4
3.-	Ubicación del área de estudio en Milpa Alta, D. F. -----	11
4.-	Tipos de hábitat encontrados en el área de estudio: A) bosque de pino-encino, B) cultivo de avena y C) pastizal inducido. -----	12
5.-	Ubicación de 18 cuadrantes para la recolecta de datos en el volcán Tulmiac, Milpa Alta, Distrito Federal. A1-6, cuadrantes en cultivos de avena; B1-6, cuadrantes en bosque de pino-encino y P1-6, cuadrantes en pastizal inducido. -----	14
6.-	Diseño utilizado para los cuadrantes que se usaron en el conteo de la distribución y producción de montículos hechos por <i>Cratogeomys merriami</i> y <i>Thomomys Umbrinus</i> , en Milpa Alta, D. F. -----	15
7.-	Oscilación de la Temperatura y la Precipitación en la Estación Meteorológica Milpa Alta durante los años 2001-2002. -----	19
8.-	Posición relativa al origen de las variables que influyen en la actividad excavadora de las tuzas <i>Cratogeomys merriami</i> y <i>Thomomys umbrinus</i> en el bosque, en Milpa Alta, D. F. -----	26
9.-	Actividad excavadora de las tuzas <i>Cratogeomys merriami</i> y <i>Thomomys umbrinus</i> , y su relación con las características físicas y las variables climáticas en el bosque, en Milpa Alta, D. F. -----	28
10.-	Posición relativa al origen de las variables que influyen en la actividad excavadora de las tuzas <i>Cratogeomys merriami</i> y <i>Thomomys umbrinus</i> en el cultivo de avena, en Milpa Alta, D. F. -----	31
11.-	Actividad excavadora de las tuzas <i>Cratogeomys merriami</i> y <i>Thomomys umbrinus</i> , y su relación con las características físicas y las variables climáticas en el cultivo de avena, en Milpa Alta, D. F. -----	32
12.-	Posición relativa al origen de las variables que influyen en la actividad excavadora de las tuzas <i>Cratogeomys merriami</i> y <i>Thomomys umbrinus</i> en el pastizal inducido, en Milpa Alta, D. F. -----	35
13.-	Actividad excavadora de las tuzas <i>Cratogeomys merriami</i> y <i>Thomomys umbrinus</i> , y su relación con las características físicas y las variables climáticas en el pastizal inducido, en Milpa Alta, D. F. -----	37
14.-	Actividad excavadora mensual de las tuzas <i>Cratogeomys merriami</i> y <i>Thomomys umbrinus</i> en los diferentes hábitats de Milpa Alta, D. F. -----	42
15.-	Distribución anual de los montículos de tierra hechos por las tuzas <i>Cratogeomys merriami</i> y <i>Thomomys umbrinus</i> , en: bosque (B), avena (A) y pastizal Inducido (P) en Milpa Alta, D. F. -----	45

ABSTRACT

This research reports the burrowing activity of the pocket gophers *Cratogeomys merriami* and *Thomomys umbrinus* in three habitats: pine-oak forest, oat crops, and induced grass in Milpa Alta, Distrito Federal. Since the effects of environmental factors on mound production by gophers are poorly known, the relationships of burrowing with temperature, precipitation, soil humidity and vegetative cover are described. Mounds were mapped, counted and weighed for each habitat. Data of temperature, precipitation, soil humidity (%), and of plant cover (%) were monthly recorded during 12 months. Our results show that gophers were active throughout the sampled year. In addition, gophers produced less amount of mounds and dug less kilograms of dirt in pine-oak sites along the year. In contrast, a higher burrowing activity was recorded on induced grasses oat fields. On the other hand, the spatial pattern of mound production was clumped regardless the habitat type. Mound production was significantly correlated with cover of forbs, grasses and oats. Conversely, precipitation, temperature and soil humidity did not show correlation with the production of gopher mounds. Therefore, burrowing activity variation does not show seasonal variation although mounds are produced all year long. However, burrowing fluctuates depending on the type of plant cover. Abiotic factors seem to play a lesser role in gopher activity.

RESUMEN

En este trabajo se reporta la actividad excavadora de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus* en tres hábitats: bosque de pino-encino, cultivo de avena y pastizal inducido en Milpa alta, D. F. Dado que los efectos de los factores ambientales sobre la producción de montículos son pocos conocidos, se describió la relación de la excavación de las tuzas con la temperatura, precipitación, humedad del suelo y cobertura vegetal. Los montículos de tierra fueron mapeados, contados y pesados en cada hábitat. Los datos de temperatura, precipitación, humedad del suelo (%) y la cobertura vegetal (%) fueron registrados durante 12 meses. Nuestros resultados muestran que las tuzas fueron activas a lo largo del año muestreado. Además las tuzas produjeron la menor cantidad de montículos y de kilogramos de tierra removida en los sitios de bosque de pino-encino a lo largo del año. Por el contrario la actividad más alta fue registrada en los cultivos de avena y en el pastizal inducido. Por otra parte el patrón espacial de la producción de montículos fue agregada independientemente del tipo de hábitat. La producción de montículos estuvo significativamente correlacionada con la cobertura de hierbas, pastos y avena. Recíprocamente, la precipitación, temperatura y humedad del suelo no mostraron una correlación con el número de montículos. Por consiguiente la actividad excavadora no mostró variación estacional aunque la producción de montículos se dio a lo largo de todo el año. Entonces las fluctuaciones en la actividad excavadora dependieron del tipo de cubierta vegetal. Los factores abióticos jugaron un papel menos importante en la actividad excavadora de las tuzas.

INTRODUCCIÓN

En el Distrito Federal, las zonas poco urbanizadas y aún conservadas de la Delegación de Milpa Alta proporcionan un mosaico de ambientes; ahí es factible encontrar desde remanentes de bosque de pino-encino, asociado a pastizales, que cubren las laderas y cerros unidos, hasta grandes extensiones de cultivos (maíz, avena y/o trigo), así como terrenos abandonados que se utilizan como áreas de pastoreo para el ganado vacuno, ovino y caprino (INEGI 1999). En esta zona se ha registrado la presencia de la tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus* (Fig. 1A y 1B; González-Romero 1981; Hall 1981; Castro Campillo y Ramírez-Pulido 2000; Navarro 2002).

Durante algunas visitas previas a la Delegación, se observó que las tuzas invaden con frecuencia cultivos de avena y las pastizal inducido, notándose una gran cantidad de montículos de tierra dentro de estos terrenos. De hecho, existen trabajos que señalan a las tuzas como plagas en esta zona y que ocasionan daño en los diferentes cultivos agrícolas del Distrito Federal; (Villa-C. 1983; Vázquez 1995; Villa-C. 2000). Sin embargo, no se encontraron estudios ecológicos recientes que analizaran los patrones de actividad excavadora de estos roedores y su relación con el hábitat, así como con factores físicos tales como la temperatura y la precipitación. Por esta razón y dada la heterogeneidad de los ambientes en la Delegación de Milpa Alta, D. F., se quiso conocer si la actividad excavadora (producción de montículos de tierra) de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus* es la misma en su hábitat natural (bosque), que en los ambientes modificados por las actividades antropogénicas (cultivos de avena y áreas de pastoreo).

A)



B)



Fig. 1. Ejemplares de tuza de A) *Cratogeomys merriami* y B) *Thomomys umbrinus* de Milpa Alta, D. F.

Las tuzas son roedores pertenecientes a la familia Geomyidae (Hall, 1981) adaptados para vivir bajo la tierra (hábitos hipogeos) y excavar túneles y galerías (fosoriales). Sus extremidades anteriores, aún cuando son cortas, están provistas de largas garras, las cuales junto con sus afilados incisivos en forma de cincel y de crecimiento constante, les sirven para la excavación de pasadizos y guaridas.

Sus ojos y orejas son pequeños, mientras que su corta cola es delgada, tiene poco pelo y es sensitiva, por lo que la usan para moverse hacia atrás en la oscuridad de sus túneles (Villa R. y Cervantes 2003). Otra característica es que tienen abazones recubiertos de pelo en las mejillas, en los que transportan alimento y materiales para el nido.

Las tuzas remueven gran cantidad de tierra y esto implica el gasto de mucha energía, por lo que también necesitan gran cantidad de alimento, el cual consiste principalmente de partes subterráneas de las plantas tales como tubérculos y raíces de todo tipo, plantas forrajeras y gramíneas (Nowak y Paradiso 1983; Villa R. y Cervantes 2003). Tienen hábitos crepusculares y, a excepción de la época reproductora, estos animales son muy territoriales (Ceballos y Galindo 1984; Chase *et al.* 1987).

En general, las tuzas ocupan gran variedad de hábitats, ya que se pueden encontrar en praderas altas de montaña, en pastizales, en bosques y en selvas, aunque actualmente se les asocia más a zonas de cultivo (caña de azúcar, maíz, avena, alfalfa entre otros; Villa-C. 1989), así como también a zonas perturbadas por actividades humanas (desmote y pastoreo excesivo; Miller 1964).

La presencia de las tuzas se hace evidente al observar los montículos de tierra que producen en distintos puntos por encima de sus galerías subterráneas, las cuales se extienden a distancias de hasta 150 metros (Chase *et al.* 1987). Los montículos son

típicamente un montón de tierra, en forma de "volcancito", que indican sitios donde las tuzas han emergido a la superficie (Fig. 2; Grinnell 1923).



Figura 2. Montículos de tierra formados por la actividad excavadora de las tuzas (Geomyidae)

Milpa Alta, D. F.

El potencial reproductor de las tuzas es alto, lo que permite la recuperación del número de sus poblaciones en plazos relativamente cortos. Sus depredadores naturales son las lechuzas, los gavilanes, las serpientes, las comadrejas y los tlalcoyotes. Los campesinos y cazadores han ido exterminando á estos depredadores, por lo que se ha propiciado la abundancia de las tuzas convirtiéndolas en roedores plaga (Villa R. y Cervantes 2003).

Las tuzas juegan papeles ecológicos importantes en la aireación, composición y drenaje del suelo, ya que remueven la tierra e incorporan materia orgánica a esta cuando almacenan su alimento; por este comportamiento también influyen en la distribución y sucesión de especies y comunidades de plantas (Laycock 1958; Grant *et al.* 1980; Hobbs y Money 1991; Klaas *et al.* 1998; Rezsutek y Cameron 2000). Sin embargo, en campos de

cultivo sus hábitos cavadores y alimenticios redundan en el perjuicio de los agricultores, pues no solo cortan la vegetación que necesitan para subsistir, sino que almacenan más de lo que consumen y la gran cantidad de montículos que producen resultan perjudiciales a los cultivos en la mayoría de ocasiones, ya que entierran las plantas jóvenes, evitando su desarrollo (Ellison y Aldous 1952; Villa-R. 1952; Witmer *et al.* 1996; Villa-C. 2000; Villa-R. y Cervantes 2003).

Por ejemplo, *Cratogeomys tylorhinus*, ocasiona un gran daño a los cultivos de alfalfa, maíz, cebada, trigo, calabaza, y también daña huertas de tomate, lechuga y romeros, entre otros (Cervantes *et al.* 1993). Por su parte *C. merriami* al producir montículos y construir sus galerías y túneles, destruye las plantas de maíz durante todo el ciclo del cultivo, pero ocasionando mayor daño en los primeros estadios de las plantas (Villa-C. 2000).

El patrón de actividad de un animal puede asociarse a determinados factores abióticos (temperatura, humedad, luz entre otros) a los que se encuentra expuesto y a su vez a variables bióticas del lugar donde vive (vegetación, depredadores, competidores). Dicho patrón es entonces parte integral de la biología de cualquier especie animal y nos proporciona, a su vez, el conocimiento sobre los factores que ejercen presiones de selección sobre su conducta (Benedix 1994).

Diversos estudios han comprobado que determinados factores del hábitat y los cambios estacionales están relacionados con la distribución de las tuzas y, por ende, con su actividad excavadora para la producción de galerías y montículos (Hickman y Brown 1973; Chase *et al.* 1987; Cox y Allen 1987). Se ha observado que aún cuando las tuzas son activas durante todo el año, su actividad se ve influenciada por la lluvia y la sequía; por ejemplo, *Cratogeomys merriami* produce pocos montículos en temporadas secas, pero

después de las lluvias, se pueden observar numerosos montículos frescos (Nowak y Paradiso 1983).

De manera similar, en un estudio realizado con *Thomomys bottae* (Bandoli 1981), se observó que la actividad excavadora tuvo su mayor auge durante la época de lluvias y disminuyó con la sequía; sin embargo, la correlación entre la producción de montículos de tierra y los niveles de precipitación fue baja (r de Spearman = -0.12), mientras que la correlación entre la cantidad de vegetación y la producción de montículos fue mayor (r de Spearman = 0.89 para las hembras y r de Spearman = 0.26 para machos).

Asimismo, varios autores han empleado la tasa de producción de montículos de tierra como medida de la actividad de excavación y concluyen generalmente que las tuzas en regiones frías, son más activas en otoño y primavera mientras que; si viven en regiones secas o cálidas, lo son en épocas de lluvia (Miller 1946; 1957; Hickman y Brown 1973; Bandoli 1981; Chase *et al.* 1987).

Los factores físicos del suelo juegan un papel muy importante en la limitación de la distribución de las tuzas, ya que los suelos de mayor preferencia para estos roedores son generalmente suaves en textura, muy porosos (friables) y tienen un buen drenaje (Miller 1964); por ejemplo, *Cratogeomys castanops* habita suelos muy suaves que contienen piedras pequeñas y evita los suelos arenosos o suelos que contienen rocas; también se ha observado (Cox y Allen 1987) que la formación de montículos de tierra tiende a ocurrir de manera más intensa en suelos superficiales y escasamente drenados.

Otros autores indican que en la primavera y el verano, las tuzas presentan poca actividad de excavación y producción de montículos, debido a que durante estas épocas el suelo está seco y posee poca humedad; incluso cavan sus túneles a mayor profundidad debido a que aumenta la temperatura del suelo (Laycock 1957; Miller y Bond 1960).

En un estudio con *Thomomys bottae*, se encontró que la mayor actividad ocurrió durante los periodos donde el suelo tenía niveles de humedad óptimos para incrementar la suavidad del suelo, facilitando de este modo la excavación (Miller 1948; 1957).

Sin embargo, cabe mencionar que en otra investigación con *Thomomys bottae*, no se encontró relación de la tasa de producción de montículos de tierra con los factores de temperatura y precipitación, observándose que los factores que influyeron más en la actividad excavadora fueron la preferencia alimenticia por cierto tipo de vegetación y el estatus reproductivo en que se encontraban las tuzas; ambos factores representaban un incentivo mayor para que las tuzas expandieran sus madrigueras (Bandoli 1981). De igual manera, ya otros autores habían sugerido que los cambios estacionales en los hábitos alimenticios y el estatus reproductivo de las tuzas, probablemente afectaban más la producción de montículos que la precipitación (Miller y Bond, 1960).

De acuerdo a los antecedentes no existen estudios en Milpa Alta enfocados a conocer la biología y ecología de *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus*, la mayoría de trabajos para estas especies se basan en control de plagas, o los hay pero fueron realizados en el extranjero; por esta razón y sabiendo de antemano la importancia de conservar los restos de ecosistemas naturales que quedan en el Distrito Federal; en éste trabajo se pretendió aportar nuevos datos sobre la actividad y la interacción ecológica de estas dos especies de tuzas.

OBJETIVOS

- ❖ Documentar la actividad excavadora de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus* en Milpa Alta, D. F., a partir del número de montículos de tierra producidos y de la cantidad de tierra que remueven en kilogramos, en tres hábitats distintos (bosque, cultivo de avena y pastizal inducido).
- ❖ Analizar si ocurre alguna interacción entre la actividad excavadora de las tuzas y ciertas características del hábitat, tales como la humedad del suelo y la cobertura vegetal, la temperatura y/o la precipitación.
- ❖ Determinar si existe un patrón estacional en la producción y distribución de los montículos de tierra producidos por las tuzas a lo largo de un año, en el área de estudio.

HIPÓTESIS

1. Dada la preferencia de las tuzas por los ambientes recién abiertos que surgen de la actividad antropogénica, en Milpa Alta, D. F. se pueden encontrar diferencias significativas en la actividad excavadora de *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus* entre un hábitat natural de bosque de pino-encino y dos hábitats modificados como lo son, los cultivos de avena y los pastizales inducidos, empleados para el pastoreo del ganado.
2. El patrón de actividad de diferentes especies de tuzas se ha visto asociado en mayor o menor grado a determinados factores bióticos y abióticos; en este estudio se espera observar una correlación directa de la actividad excavadora de las tuzas con ciertas características del hábitat (humedad del suelo, cobertura vegetal, temperatura y/o precipitación).
3. Los factores precipitación y temperatura, podrían provocar cambios en la actividad excavadora de las tuzas; en este trabajo se espera observar la mayor producción de montículos de tierra durante los meses lluviosos, puesto que durante éstos las condiciones edáficas y los recursos alimenticios son mejores para las tuzas.

ÁREA DE ESTUDIO

Está localizada hacia la ladera norte del volcán Tulmiac, el cual se ubica 9 km al sur del municipio de San Salvador Cuauhtenco, Delegación de Milpa Alta, Distrito Federal ($19^{\circ} 07' 00'' - 19^{\circ} 08' 30''$ N y $99^{\circ} 06' 00'' - 99^{\circ} 07' 15''$ W), siendo su altitud aproximada de 2420 msnm en las áreas bajas y de 3400 msnm en sus partes más altas (Fig. 3); el clima en esta región es templado subhúmedo con lluvias en verano (C(w2); INEGI 1998). Este volcán está cubierto principalmente por bosque de pino (*Pinus teocote* y *Pinus oocarpa*), oyamel (*Abies religiosa*) y encino (*Quercus sp.*), asociado a pastizal alpino (Fig. 4a; *Mulhembergia macroura*, *Stipa ichu* y *Festuca amplissima*), presentando un estrato arbustivo con *Buddleia*, *Castilleja*, *Senecio* y *Stevia* como géneros predominantes y un estrato herbáceo con géneros como *Baccharis*, *Conyza*, *Penstemon* y *Ribes*, entre otros; también ocurren algunas plantas espinosas como *Eryngium columnare* y *E. proteaeflorum* (identificación directa de algunas plantas en el Herbario Nacional del Instituto de Biología de la UNAM; Rzedowski 1986). Además, en las partes bajas del volcán se encuentran zonas de cultivos principalmente de avena (Fig. 4b; *Avena sativa*) y trigo (*Triticum sp.*); aledañas a estos cultivos existen áreas que están abandonadas y que se utilizan para el pastoreo, las cuales para este trabajo se consideran como pastizal inducido (Fig. 4c; INEGI 1998; 1999). En ésta última zona se llevan a cabo actividades de agricultura de temporal y pastoreo de borregos y cabras, por lo que las áreas más conservadas están siendo deterioradas, además de que se practica la tala tradicional y la cacería de especies silvestres, como es el caso para el conejo *Sylvilagus floridanus*, por la gente nativa del lugar (INEGI 1998).

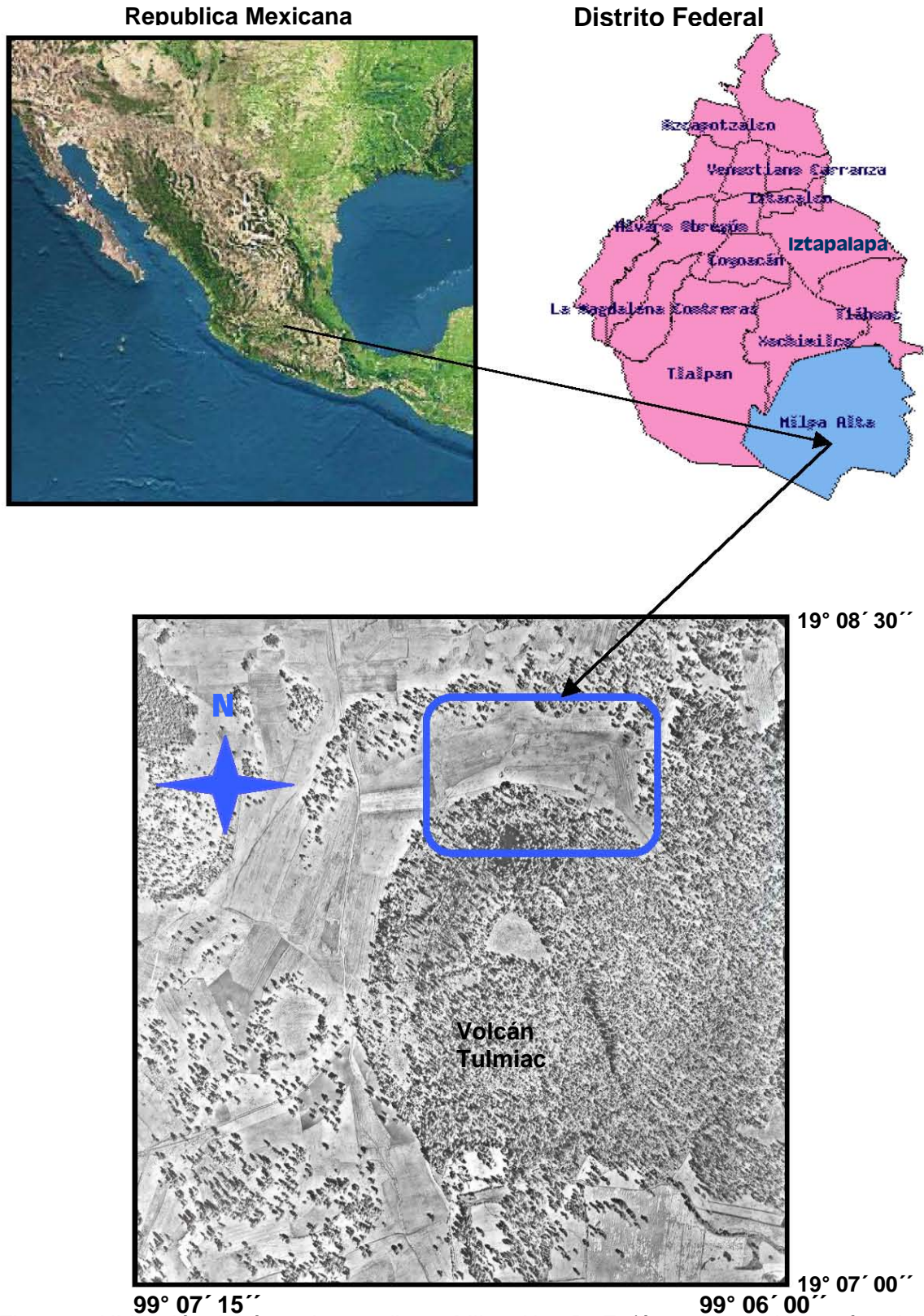


Figura 3. Ubicación del área de estudio en Milpa Alta, D. F. (área dentro del rectángulo; INEGI 1998, 1999).

A)



B)



C)

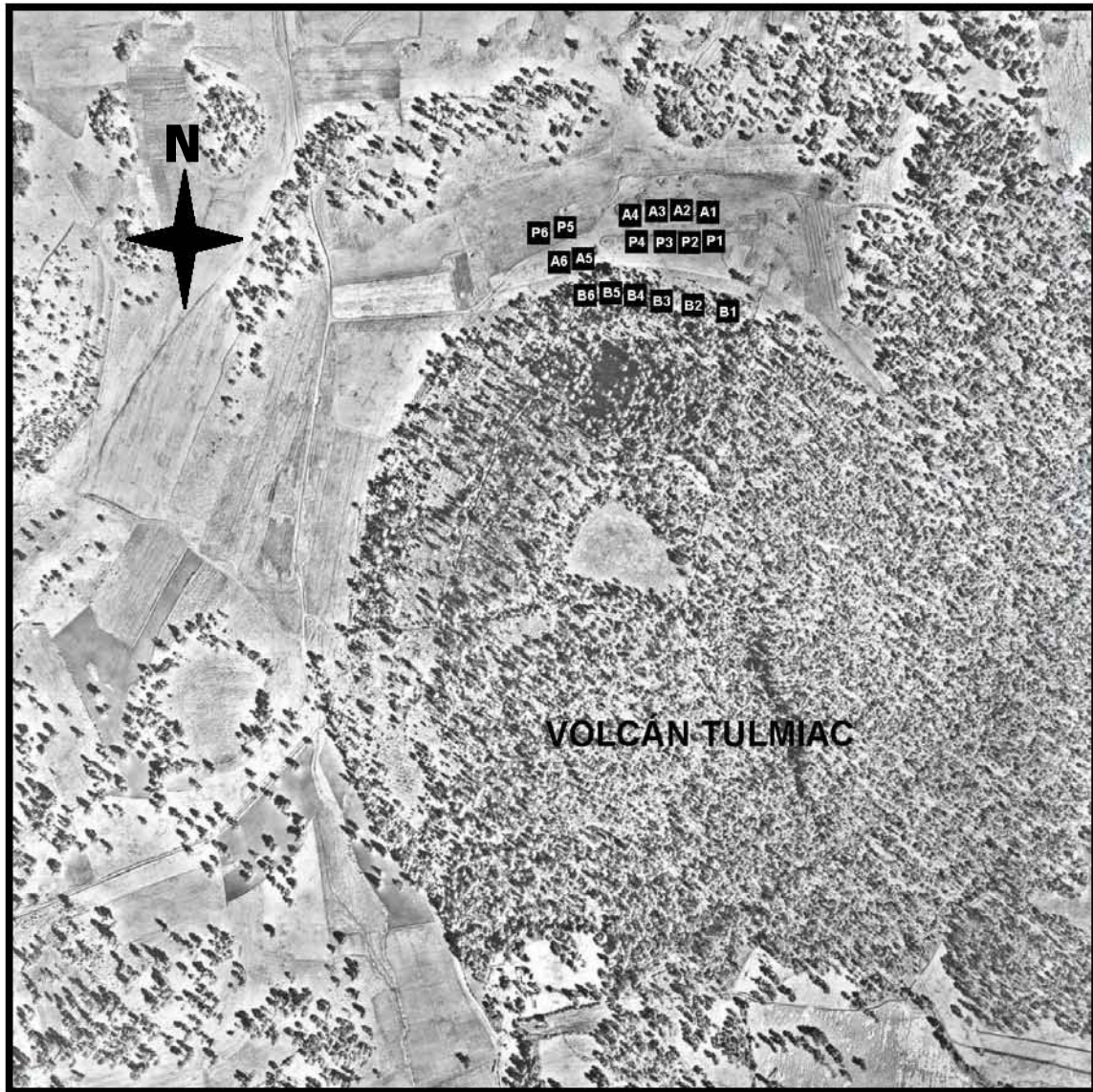


Figura 4. Tipos de hábitat encontrados en el área de estudio: A) bosque de pino-encino, B) cultivo de avena y C) pastizal inducido.

MATERIALES Y METÓDOS

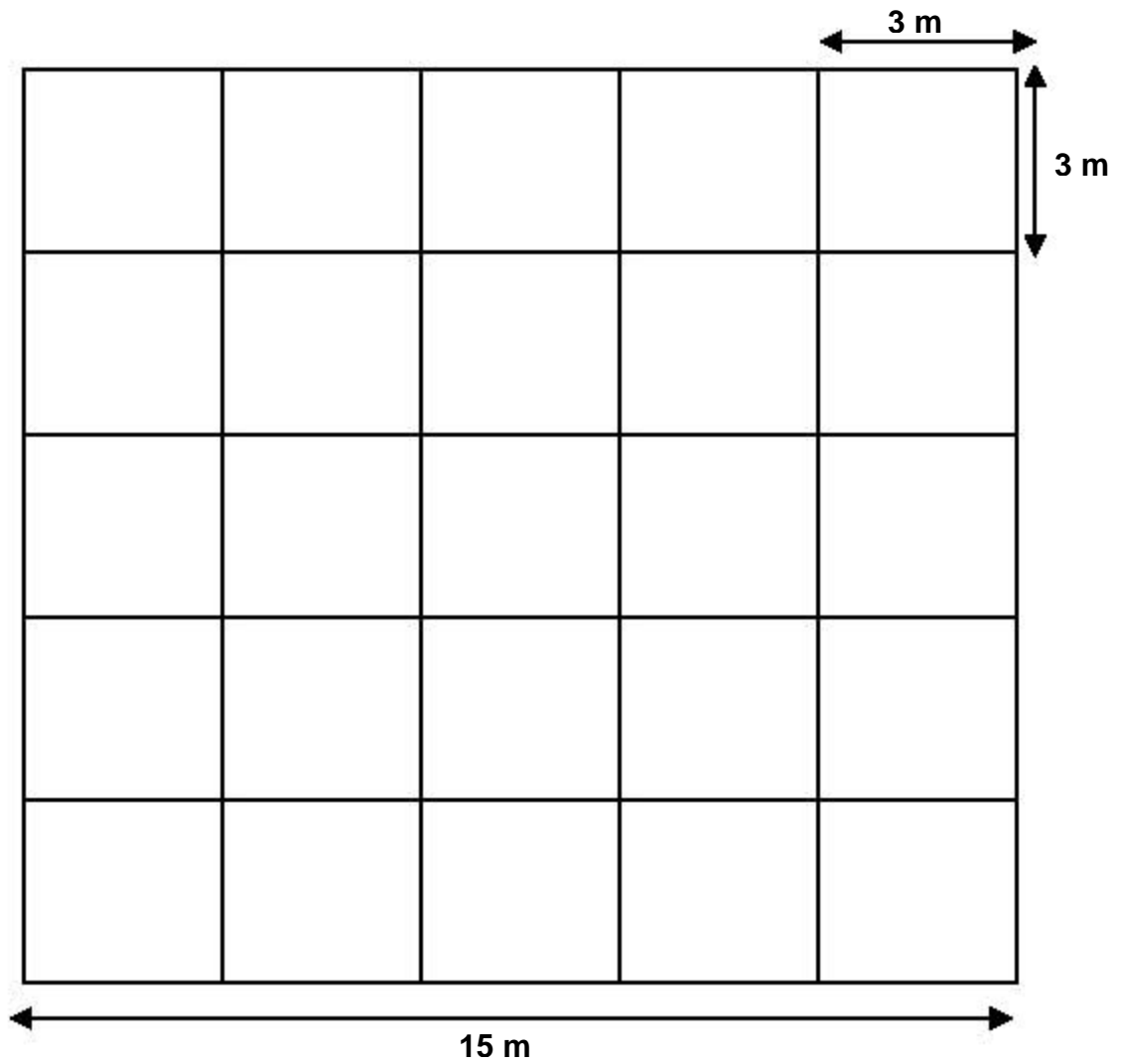
Trabajo de campo.- Se hicieron cuatro salidas preliminares para ubicar la zona de estudio (septiembre y diciembre del 2000 y enero y marzo del 2001) y el trabajo de campo se realizó durante 12 meses comenzando en abril del 2001 para terminar en marzo del 2002. Al principio del muestreo, se colocaron ceños del # 0 para corroborar la existencia de las dos especies de tuzas, *Thomomys umbrinus* y *Cratogeomys merriami*, que han sido mencionadas en la literatura para la zona (González-Romero 1981; Hall 1981; Ramírez-Pulido *et al.* 1996; Castro Campillo y Ramírez-Pulido 2000; Navarro 2002) y se capturaron dos ejemplares, uno de cada especie, a los cuales se les realizó la taxidermia para después identificarlos mediante las claves de Hall (1981) y la comparación de ejemplares alojados en la Colección Nacional de Mamíferos del Instituto de Biología de la UNAM.

Cuadrantes.- Se establecieron seis cuadrantes para cada uno de los tres tipos de hábitat (bosque de pino-encino-oyamel asociado a pastizal, cultivo de avena y pastizal inducido), de suerte que se analizaron 18 cuadrantes independientes en total (Fig. 5). Los cuadrantes medían 15 m por lado y 225 m² de área, haciendo un total de 4,050 m² analizados. Con el apoyo de estacas de madera y piola, se marcó una cuadrícula dentro de cada cuadrante con cuadros de 3 m por lado (Fig. 6 Reid *et al.* 1966; Hobbs y Mooney 1991). A excepción del cultivo de avena, todos los cuadrantes y sus divisiones se marcaron con estacas y cintas de plástico color negro, para evitar el montaje físico en cada salida.



Escala: 1: 10 000

Figura 5. Ubicación de 18 cuadrantes para la recolecta de datos en el volcán Tulmiac, Milpa Alta, D. F. A1-6, cuadrantes en cultivos de avena; B1-6, cuadrantes en bosque de pino-encino y P1-6, cuadrantes del pastizal inducido. La fotografía aérea se obtuvo del INEGI (1999).



Área total del cuadrante: 225 m².

Figura 6. Diseño utilizado para los cuadrantes que se usaron en el conteo de la distribución y producción de montículos hechos por *Cratogeomys merriami* y *Thomomys Umbrinus*, en Milpa Alta, D. F.

Determinación de la producción y distribución de los montículos de Tierra.- Se realizaron de dos a cuatro conteos por salida en los tres ambientes, procurando realizar uno por la mañana y otro por la tarde; en todos los casos se especificó la hora y fecha de cada conteo. Para determinar la distribución y producción de los montículos, se ubicó cada montículo en cuadrículas de papel que representaban cada cuadrante particular (Reid *et al.* 1966). Para obtener el peso (kg) de cada uno de los montículos, se colocó la tierra en bolsas de costal y se usó una báscula romana; esta medición fue hecha de la manera más consistente y precisa posible. Para evitar errores y/o repeticiones en los conteos de montículos nuevos al mes siguiente, después de cada conteo y pesado se aplanaban los montículos al ras del suelo, pero sin destapar el túnel de la tuza, esparciendo la tierra sobre la entrada del túnel.

Estimación de la cobertura vegetal.- Se colectaron muestras de las diferentes especies de plantas presentes en los tres hábitats, las cuales se secaron y se prepararon para su posterior identificación en el Herbario Nacional del Instituto de Biología de la UNAM. De manera general, se cuantificó la cobertura vegetal de cada cuadrante, usando también cuadrículas como las mencionadas para los montículos. Posteriormente, la cobertura vegetal se expresó en términos de porcentajes para cada hábitat:

- 1) **Bosque:** En cada cuadrante se consideró únicamente la presencia o ausencia de árboles, arbustos, pastos amacollados y vegetación herbácea.
- 2) **Cultivo de avena:** Se registró la cobertura de acuerdo a las distintas etapas del cultivo: barbecho, siembra (abril y mayo), desarrollo del cultivo (junio-octubre), poda y secado de la avena (noviembre y diciembre) y descanso del terreno (enero-marzo). Además, se consideró la cobertura de la vegetación herbácea dentro del cultivo, para lo cual, dentro de cada cuadrante se trazaron seis transectos lineales

al azar, usando cordones de 5 m de largo marcados con líneas transversales cada 10 cm; esto permitió manejar 50 puntos de cobertura. Los cordones se colocaron sobre el terreno y se iba anotando el número de puntos que caían sobre avena y los que estaban sobre hierbas; por ejemplo, 33 puntos sobre avena y 17 sobre hierbas. Para sacar el porcentaje de los dos tipos de vegetación se sumaron los respectivos puntos de los seis transectos y se dividieron entre 300, que equivale al total de cada cuadrante.

- 3) **Pastizal inducido:** Se consideró la presencia o ausencia de vegetación herbácea y pastos, además de que se registraron las actividades de pastoreo que se llevaban a cabo en estos terrenos.

Determinación de la humedad del suelo.- En cada cuadrante se tomaron al azar seis muestras de suelo de 30 gramos a una profundidad de 40 cm y cada una se introdujo en un frasco de vidrio con tapa. Una vez en el Laboratorio de Mastozoología del Instituto de Biología de la UNAM, las muestras fueron sometidas a un proceso gravimétrico para determinar el contenido de humedad siguiendo a Gardner (1986). Primero se obtuvo el peso de cada muestra de suelo obtenida en el campo, mediante una balanza analítica; ésta se consideró como la muestra húmeda. Posteriormente, se secó la muestra por calor en una estufa, usando una temperatura de 105 °C durante 24 horas. Finalmente, la muestra se volvió a pesar hasta que alcanzara un peso constante, y la diferencia resultante del peso de la muestra húmeda menos el de la muestra seca representó la humedad contenida antes de llevarla a sequedad.

Los datos de humedad se manejaron en términos de porcentaje (%), mediante la siguiente fórmula (Gardner 1986):

$$\text{Humedad del Suelo} = \frac{\text{Peso de suelo húmedo} - \text{Peso de suelo seco}}{\text{Peso de suelo seco}} \times 100$$

Estacionalidad de la actividad excavadora.- Se solicitaron los datos de precipitación y temperatura mensuales para el área de estudio al Servicio Meteorológico Nacional (Av. Observatorio No. 192, Colonia Observatorio, Delegación Miguel Hidalgo México, D. F.) por medio de una consulta de los datos obtenidos en la estación meteorológica de Milpa Alta durante 2001-2002 (Fig. 7). La actividad excavadora de las tuzas se analizó de acuerdo a la variación estacional, considerando para la época húmeda los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre; mientras que, para la época seca se tomaron en cuenta los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril (Bandoli 1981; Andersen 1987).

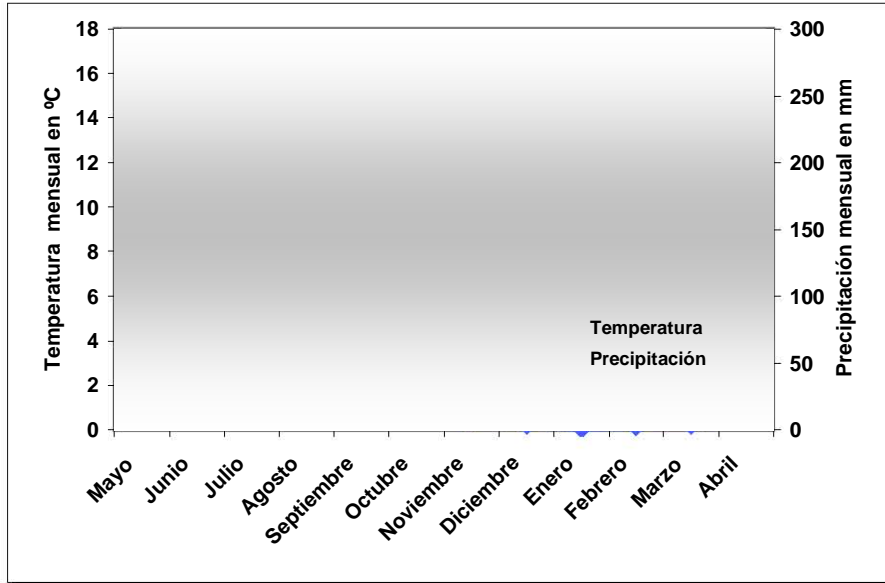


Figura 7. Oscilación de la Temperatura y la Precipitación en la Estación Meteorológica Milpa Alta durante los años 2001- 2002. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

Análisis de datos.- Los datos obtenidos del conteo de montículos, cobertura vegetal y porcentaje de humedad del suelo, se ordenaron para su análisis posterior en cuadros por mes y por cuadrante. Todos los datos se capturaron en una base de datos, usando el programa Excel (Ver Microsoft Excel 1998). Para cada variable, se calculó la estadística descriptiva y se desarrollaron pruebas de normalidad para poder aplicar el ANOVA y el Análisis de Componentes Principales.

1. Estadística Univariada

Se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) para conocer si existían diferencias significativas respecto a la producción de montículos y a la remoción de tierra anual y estacional (época húmeda y seca) entre los tres tipos de hábitat. Posteriormente, se hizo una comparación múltiple de Tukey para conocer cual era el hábitat que difería (Zar 1996;

Williams *et al.* 2002; Daniel 2004). Estos análisis se corrieron en el programa MINITAB (2003).

Para comprobar diferencias en la producción de montículos y la remoción de la tierra entre la época húmeda y la época seca de manera separada para cada tipo de hábitat, se aplicó la prueba de *t* de Student (Zar 1996; Daniel 2004), usando el programa SPSS (2000).

Para determinar el tipo de distribución o el grado de agregación que presentan los montículos, se utilizó la frecuencia anual de éstos en los 18 cuadrantes; en cada tipo de hábitat y se realizó una prueba de Poisson mediante el índice de agregación S^2 / X , donde S^2 = varianza y X = es la media, considerando las siguientes hipótesis:

- a. Si $S^2/X = 1$ se presenta una distribución al azar
- b. Si $S^2/X < 1$ se presenta una distribución uniforme y
- c. Si $S^2/X > 1$ la distribución es agregada.

Para probar la significancia de la decisión tomada, se realizó una prueba de Chi cuadrada (X^2 ; López *et al.* 1995; Zar 1996; Daniel 2004).

2. Estadística Multivariada

Se realizó un análisis de factores con el método de extracción de componentes principales (PCA) y con rotación Varimax para facilitar la comprensión de los resultados en cada componente (Narayan 1996) en el paquete SPSS (2000). Este análisis se aplicó para conocer que característica del hábitat (cobertura vegetal, humedad del suelo, temperatura y/o precipitación) explica la mayor variabilidad en la actividad excavadora de las tuzas, dentro de cada tipo de hábitat. Para confirmar la fiabilidad el método de factores se hizo la prueba de esfericidad de Bartlett para los datos de cada uno de los hábitats; en la

determinación del número de componentes se utilizó el método de Kaiser, el cual selecciona el número de factores que tengan eigenvalores mayores a uno (SPSS 2000).

3. Estadística no paramétrica

Se aplicó un análisis de correlación (Rho de Spearman; SPSS 2000) para conocer la relación entre las variables bióticas y abióticas con la actividad excavadora de las tuzas. En virtud de que los datos individuales de cinco meses no presentaron los parámetros de normalidad, se aplicó una prueba de rangos de Kruskal Wallis con el objeto de comparar mensualmente la actividad excavadora de las tuzas (Zar 1996; Daniel 2004).

RESULTADOS

Actividad Excavadora en los Tres Hábitats

Durante un año de estudio en Milpa Alta, Distrito Federal se contaron y pesaron un total de 3,383 montículos de tierra, de los cuales 385 se encontraron en el bosque, 1,514 en el cultivo de avena y 1,484 en el pastizal inducido. De igual forma, se pesó un total de 10,230 kilogramos de tierra removida, de donde; 1,194 kg se removieron en el bosque, 4,626 kg en el cultivo de avena y 4,410 kg en el pastizal inducido; en cada tipo de hábitat el área fue de 1,350 m².

El ANOVA simple reveló diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$, Cuadro 1) entre los tres hábitats, respecto a la producción de montículos, al igual que en la remoción de tierra. Mediante las comparaciones de Tukey se observó que el bosque fue el que presentó la menor actividad excavadora de las tuzas. Mientras que la mayor actividad se observó en el cultivo de avena y en el pastizal inducido, entre los que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

Cuadro 1. Diferencias en la actividad excavadora de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus*, de acuerdo al tipo de hábitat en Milpa Alta, D. F. Los valores estadísticamente significativos ($p \leq 0.05$) de F y p del ANOVA se encuentran marcados con letras negritas. Si = existen diferencias significativas; No = no existen diferencias significativas.

Variable	Media \pm Desviación Estándar			Tukey			ANOVA F (p)
	Bosque (B)	Avena (A)	Pastizal (P)	B* A	B* P	A* P	
No. de montículos	32.1 \pm 30.0	126.1 \pm 60.8	123.7 \pm 117.3	Si	Si	No	5.7 (0.008)
Kg de tierra removida	99.5 \pm 92.1	385.5 \pm 237.7	367.5 \pm 356.8	Si	Si	No	4.8 (0.015)

Características del Hábitat y Actividad Excavadora

Bosque de pino-encino

Al aplicar el análisis de correlación (Rho de Spearman; r_s), se observó que la actividad excavadora de las tuzas no se correlacionó significativamente con la cobertura de árboles y arbustos ($r_s = -0.477$, $p = 0.117$; $r_s = -0.011$, $p = 0.974$, respectivamente) por el contrario si existió una correlación significativa entre el número de montículos y la cobertura de hierbas y pastos ($r_s = 0.599$, $p = 0.040$; $r_s = 0.804$, $p = 0.002$, respectivamente); respecto a las variables abióticas no se mostró correlación de la actividad excavadora de las tuzas con la precipitación y la temperatura ($r_s = -0.477$, $p = 0.117$; $r_s = -0.477$, $p = 0.117$ respectivamente).

El análisis de componentes principales en el bosque, se realizó incluyendo todas las variables que caracterizan dicho lugar (cobertura vegetal, humedad del suelo, temperatura y precipitación), así como las variables del peso y número de montículos de tierra que representan la actividad excavadora de las tuzas. El porcentaje total de variación en la actividad excavadora de las tuzas, explicada por los cuatro primeros componentes principales fue de 91.1%, siendo el primer componente responsable del 40.56%. El segundo componente concentra el 21.43%; el tercero, 17.45% y el cuarto componente, 11.7% (Cuadro 2).

El primer componente está altamente correlacionado con las variables pastos y hierbas, lo cual nos lleva a designarlo como el factor del estrato herbáceo; el segundo componente se correlaciona altamente con las variables humedad del suelo y precipitación, lo cual nos lleva a nombrar a este componente factor precipitación. Por otra

parte, el tercer componente se relaciona con la variable arbustos y el cuarto componente con las variables árboles y temperatura (Cuadro 2).

Asimismo, al analizar los coeficientes de las variables individuales dentro de cada componente, podemos observar que hay una correlación significativa entre el Componente 1, “estrato herbáceo”, con la producción de montículos. La variable hierbas presenta un signo negativo, lo cual indica que hay una disminución en ésta y un posible aumento en la cantidad de pastos, esto nos indica de una relación inversa entre ambas variables.

El Componente 2, “precipitación”, no se encuentra relacionado con la actividad excavadora, pero si tiene relación con la humedad del suelo. El componente 3, ó “factor arbustos”, tiene signo negativo y esto puede indicar que al haber una disminución de arbustos, hay un aumento en la remoción de tierra por las tuzas, ya que la variable peso presenta una correlación significativa con este componente. Por último, el componente 4, que representa a la cobertura de árboles, se relaciona con la temperatura y no presenta correlación con la actividad excavadora de las tuzas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de Componentes Principales de las variables que influyen en la actividad excavadora de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus* dentro del bosque en Milpa Alta, D. F. Se muestran los eigenvalores en cada componente. Los coeficientes de las variables estandarizadas con los valores más altos se encuentran marcados con letras negritas.

	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
Variables	3.65	1.93	1.57	1.05
Montículos	0.799	- 0.267	0.435	- 0.290
Peso	0.526	- 0.347	0.621	- 0.303
Árboles	- 0.277	- 0.006	0.325	0.840
Arbustos	0.075	- 0.059	- 0.886	- 0.142
Pastos	0.966	- 0.080	0.009	- 0.095
Hierbas	- 0.923	0.109	0.237	- 0.191
Humedad suelo	- 0.248	0.800	0.196	0.415
Temperatura	0.314	0.261	- 0.364	0.763
Precipitación	- 0.090	0.954	- 0.155	- 0.059

En el gráfico tridimensional de los tres primeros componentes principales (Fig. 8), podemos observar que las distancias al origen de las variables montículos y pastos son muy similares, lo cual indica relación entre ambas. La variable hierbas se concentra en los valores negativos de este componente, justo al contrario de la variable pastos. En el Componente 2 se concentran las variables humedad del suelo y precipitación, las cuales tienen distancias similares; en el Componente 3, las distancias del peso y los arbustos son similares, lo cual indica una posible relación.

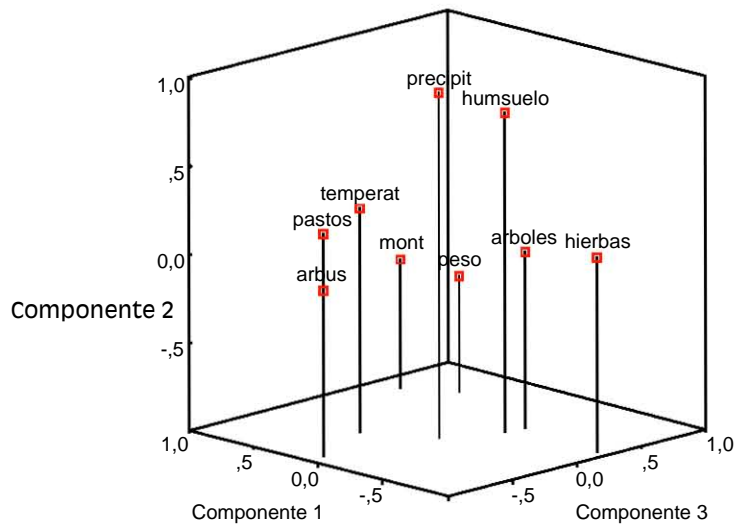


Figura 8. Posición relativa al origen de las variables que influyen en la actividad excavadora de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus* en el bosque, en Milpa Alta, D. F.

Al observar el comportamiento mensual entre la actividad excavadora (representada por el número de montículos de tierra) y la cobertura vegetal, se puede observar que los porcentajes de cobertura tanto de árboles como de arbustos son más bajos con respecto a los de la cobertura de hierbas y pastos; donde, estas últimas reflejan una relación más directa con la actividad excavadora (como lo indicó el Análisis de Componentes).

Asimismo la cobertura de hierbas presenta un comportamiento inverso a la de los pastos; es decir, éstas disminuyen cuando la cobertura de pastos aumenta (Fig. 9).

Respecto a la temperatura y la precipitación, se observan picos de actividad excavadora en meses secos (noviembre, diciembre y abril) y hay poca actividad durante la estación de lluvias, sin embargo no se obtuvo una relación significativa entre la producción de montículos y la precipitación; la variable temperatura se mantuvo constante casi todo el año y tampoco se relacionó directamente con la actividad excavadora de las tuzas.

Asimismo, al analizar el comportamiento del porcentaje de humedad del suelo con respecto al número de montículos producidos, se observa una interacción inversa, ya que hay picos de actividad cuando la cantidad de humedad disminuye en el suelo y viceversa; sin embargo no se obtuvo una correlación significativa de esta variable con la actividad excavadora; todas estas observaciones gráficas se reflejan en los resultados que se obtuvieron en el previo análisis de componentes principales (Fig. 9).

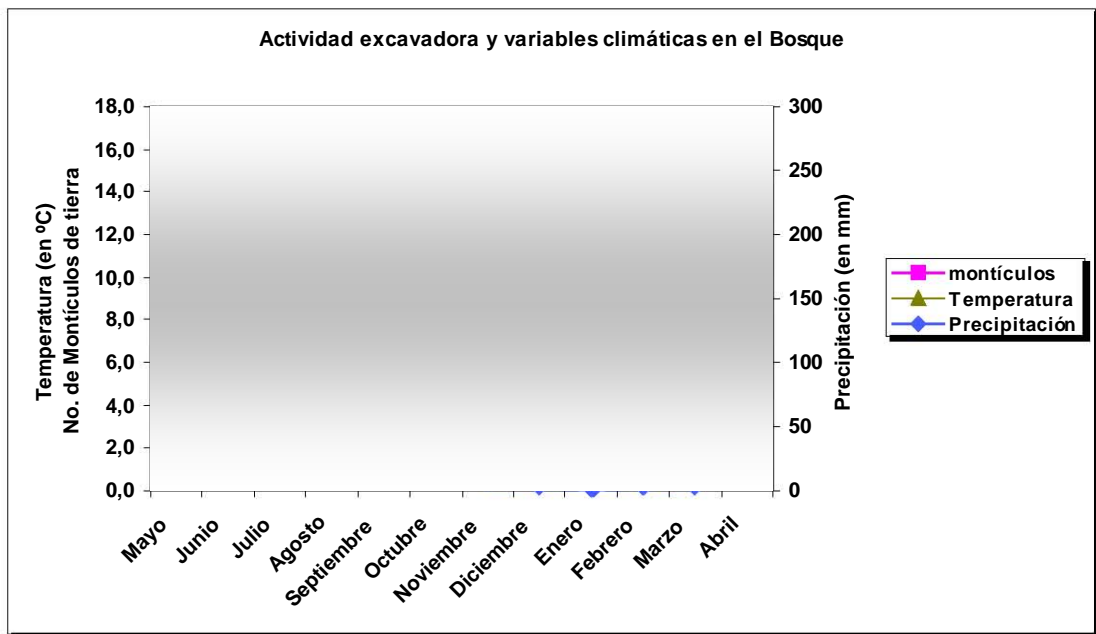
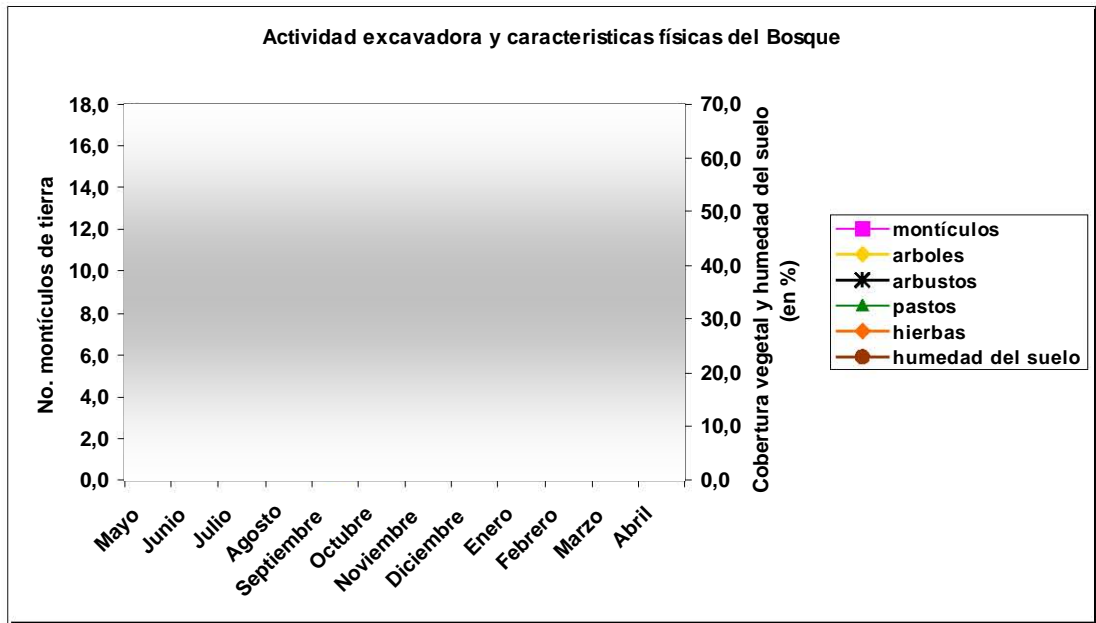


Figura 9. Actividad excavadora de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus* y su relación con las características físicas y las variables climáticas en el bosque, en Milpa Alta, D. F.

Cultivo de Avena

Al aplicar el análisis de correlación (Rho de Spearman; r_s), se observó que la actividad excavadora de las tuzas se correlacionó significativamente con la cobertura del cultivo de avena y con la de hierbas ($r_s = 0.631$, $p = 0.028$; $r_s = 0.662$, $p = 0.019$, respectivamente).

Por el contrario no existió una correlación significativa entre los factores abióticos y la producción de montículos (humedad del suelo, temperatura, precipitación; $r_s = 0.385$, $p = 0.217$; $r_s = 0.144$, $p = 0.656$, $r_s = 0.021$, $p = 0.948$, respectivamente).

En el análisis de componentes principales para el cultivo de avena, la variable de cobertura vegetal se representa por el porcentaje de avena y el de hierbas; además, se consideró la humedad del suelo, la temperatura y la precipitación. La actividad excavadora fue representada por las variables montículos y peso de los mismos. En este análisis, el porcentaje acumulado de la variación total en la actividad excavadora de las tuzas, explicada por los dos primeros componentes principales fue del 68.60%, siendo el primer componente responsable del 44.9 % y el segundo del 23.7 % (Cuadro 3).

Al analizar los coeficientes para cada variable, tenemos que el Componente 1 representa la cobertura vegetal del cultivo de avena, incluyendo también a la vegetación herbácea; asimismo, se observa la correlación significativa de este componente con la actividad excavadora representada por las variables montículos y peso. Respecto al Componente 2, se observa que representa las características ambientales del hábitat, ya que se correlaciona con las variables temperatura, precipitación y humedad del suelo; sin embargo, este componente no se encuentra correlacionado de manera significativa con la actividad excavadora de las tuzas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de Componentes Principales de las variables que influyen en la actividad excavadora de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus* dentro del cultivo de Avena en Milpa Alta, D. F. Se muestran los eigenvalores en cada componente. Los coeficientes de las variables estandarizadas con los valores más altos se encuentran marcados con letras negritas.

	Componente 1	Componente 2
Variables	3.143	1.66
Montículos	0.882	0.154
Peso	0.745	0.163
Avena	0.880	- 0.270
Hierbas	0.699	0.348
Humedad suelo	0.463	0.744
Temperatura	0.147	0.689
Precipitación	- 0.148	0.822

Al analizar el gráfico bidimensional de los dos primeros componentes principales para el cultivo de avena (Fig.10), es evidente la estrecha relación entre la actividad excavadora de las tuzas y la cobertura vegetal del cultivo en el eje del componente 1. Además, se observa que las distancias al origen de las variables avena y montículos son similares, al igual que las distancias de las variables hierbas y peso. En el componente 2, se refleja la relación entre las variables precipitación y humedad del suelo, las cuales tienen distancias similares al origen; la variable temperatura no se relaciona con la actividad excavadora.

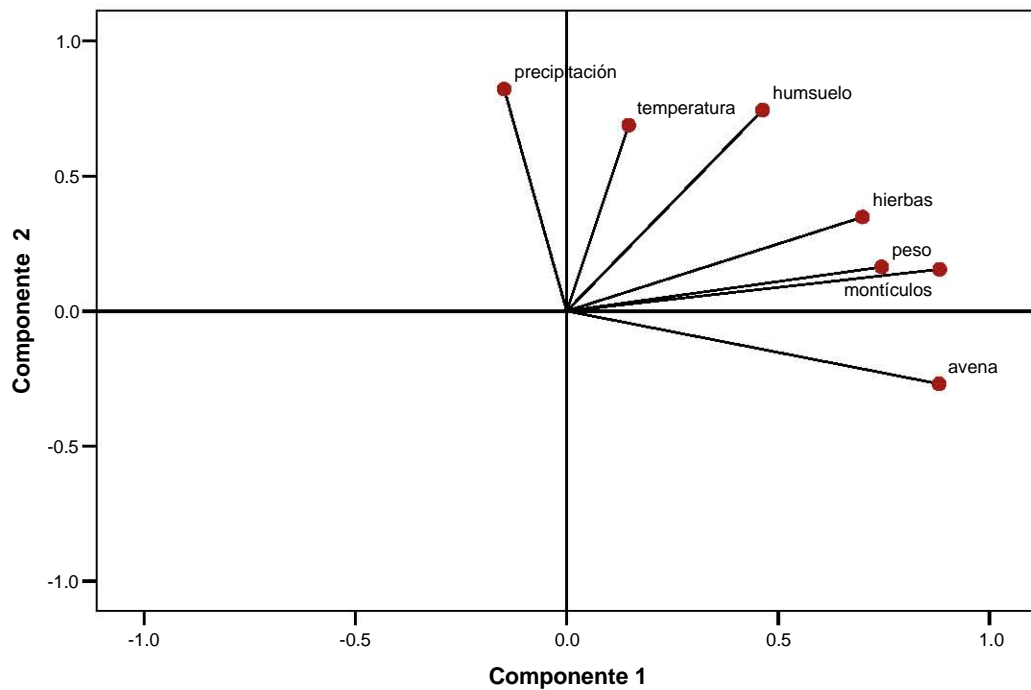


Figura10. Posición relativa al origen de las variables que influyen en la actividad excavadora de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus* en el cultivo de avena, en Milpa Alta, D. F.

Al graficar el comportamiento mensual entre la actividad excavadora y la cobertura vegetal, se puede observar que el patrón de oscilación entre la cobertura de avena y de hierbas es muy similar al de la producción de montículos. En este sentido, cabe mencionar que en las etapas de barbecho y siembra (abril y mayo) no se presenta actividad de las tuzas, dado que en dichas etapas no hay cobertura vegetal, a su vez los picos más representativos en la producción de montículos coinciden con las etapas en donde la cobertura de avena y hierba es más amplia. Asimismo, se observa que no hay relación de la actividad excavadora con la humedad del suelo, la temperatura y la precipitación (Fig. 11).

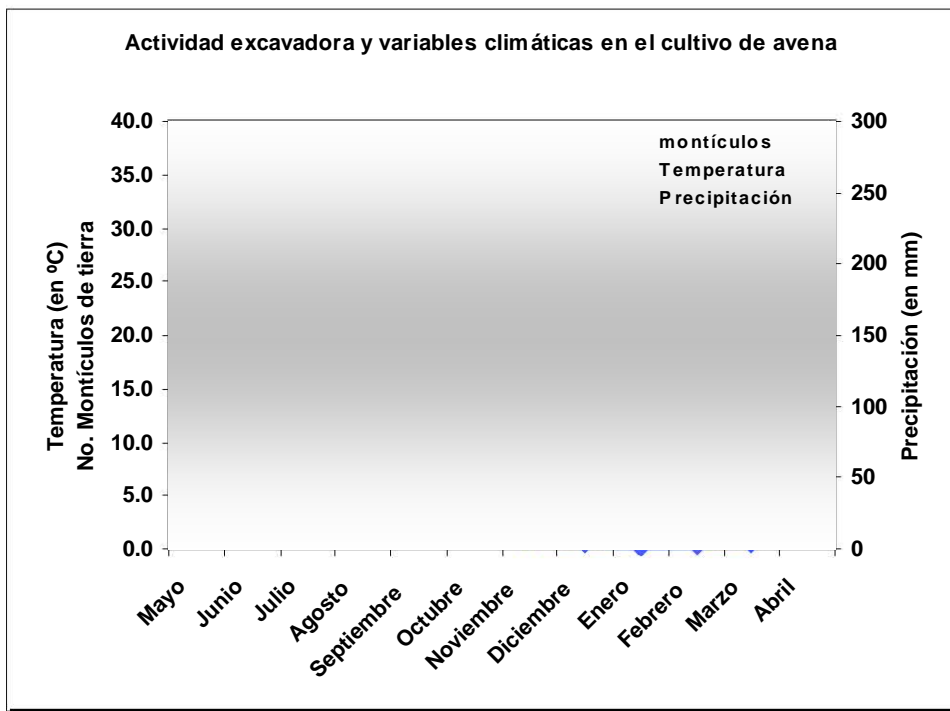
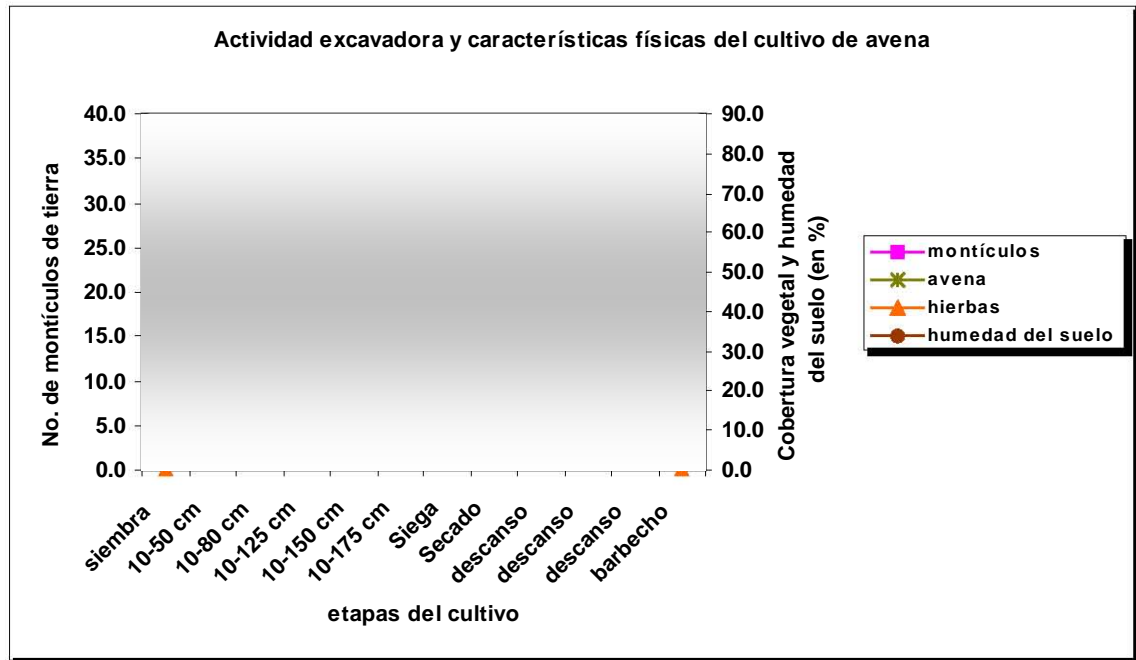


Figura 11. Actividad excavadora de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus*, y su relación con las características físicas y las variables climáticas en el cultivo de avena, en Milpa Alta, D. F.

Pastizal inducido

Al aplicar el análisis de correlación (Rho de Spearman; r_s), se observó que la actividad excavadora de las tuzas no se correlacionó significativamente con la cobertura de pastos y hierbas ($r_s = 0.235$, $p = 0.418$; $r_s = 0.325$, $p = 0.302$, respectivamente). Asimismo, no existió una correlación significativa entre los factores abióticos y la producción de montículos (humedad del suelo, temperatura, precipitación; $r_s = -0.369$, $p = 0.238$; $r_s = -0.062$, $p = 0.849$, $r_s = -0.194$, $p = 0.545$, respectivamente).

Para hacer el análisis de componentes principales de este hábitat, se consideraron las variables de la actividad excavadora (montículos y peso) y las variables de las características del hábitat (cobertura vegetal: pastos y hierbas; humedad del suelo; precipitación y temperatura). En este caso, el porcentaje de variación de los tres primeros componentes principales fue de 87.72%, del cual el primer componente es responsable del 39.1% de la variación total en la actividad excavadora de las tuzas, el segundo del 30.9% y el tercero del 17.6 % (Cuadro 4).

Al revisar los coeficientes para las variables, podemos indicar que el Componente 1 representa la actividad excavadora de las tuzas al mostrar una correlación alta con las variables montículos y peso de los mismos. El Componente 2 representa la cobertura vegetal, ya que presenta una correlación significativa con las variables hierbas y pastos. Por último el Componente 3, se correlaciona con las variables humedad del suelo, precipitación y temperatura, lo cual especifica a las características climáticas del hábitat (Cuadro 4).

Al comparar entre componentes se observa que la variable humedad del suelo se encuentra relacionada con la actividad excavadora que se representa en el Componente 1; dicha variable presenta signo negativo, lo cual indica que al disminuir la humedad del

suelo aumenta la actividad excavadora de las tuzas. Los otros dos componentes que se refieren a la cobertura vegetal (donde se observa una relación inversa entre pastos y hierbas), a la temperatura y precipitación; no se correlacionan significativamente con la producción de montículos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de Componentes Principales de las variables que influyen en la actividad excavadora de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus* dentro del pastizal inducido en Milpa Alta, D. F. Se muestran los eigenvalores en cada componente. Los coeficientes de las variables estandarizadas con los valores más altos se encuentran marcados con letras negritas.

	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Variabes	2.74	2.17	1.24
Montículos	0.975	0.022	- 0.042
Peso	0.958	0.198	- 0.066
Pastos	0.077	0.995	0.056
Hierbas	- 0.077	-0.995	- 0.057
Humedad suelo	- 0.596	0.127	0.722
Temperatura	0.279	0.127	0.713
Precipitación	- 0.260	- 0.060	0.815

En el gráfico de tres dimensiones, observamos que en el eje del Componente principal 1 se representan las variables peso y montículos, los cuales tienen distancias al origen muy similares. En el Componente 2 se observan las variables hierbas y pastos, la primera de las cuales presenta signo negativo, indicando una relación inversa con la segunda (Fig. 12). Para el Componente 3 observamos las variables de temperatura, humedad del suelo y precipitación; estas últimas tienen distancias similares al punto de origen, lo que podría dar indicio de una relación entre ambas.

Como ya se mencionó anteriormente, al comparar los tres ejes no se observa relación entre la actividad excavadora de las tuzas y las características del hábitat.

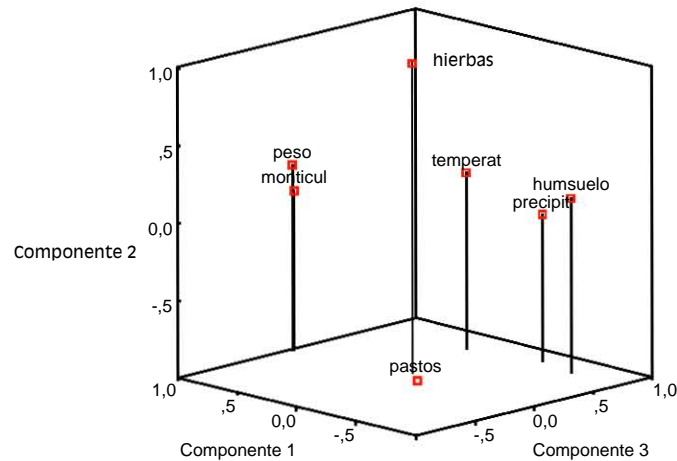


Figura 12. Posición relativa al origen de las variables que influyen en la actividad excavadora de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus* en el pastizal inducido, en Milpa Alta, D. F.

Al analizar el comportamiento mensual entre la actividad excavadora y la cobertura vegetal, se observa que la oscilación del número de montículos es similar al cobertura de Pastos, sin embargo en el Análisis de Componentes no se reporta una relación entre estas variables; para el caso de la cobertura de hierbas solo coincide en un aumento junto con la actividad excavadora en el mes de diciembre y en una disminución en los meses de noviembre y enero, pero no hay una relación significativa entre ambas. Por otra parte los niveles más altos de la humedad del suelo coinciden con una disminución en la actividad excavadora y viceversa; este comportamiento se refleja en el Análisis de componentes que indica una relación negativa de esta variable con la actividad excavadora de las tuzas (Cuadro 4). Respecto al comportamiento de la cobertura de pastos y hierbas, se observa

una posible interacción inversa, ya que cuando hay picos altos en la cobertura de pastos, la cobertura de hierbas tiende a bajar y viceversa (Fig. 13). De igual manera se detecta el mismo patrón de interacción inversa entre la producción de montículos y la precipitación. Dado que se observa que la actividad excavadora de las tuzas se incrementa cuando bajan los niveles de precipitación. La temperatura se mantiene constante sin variaciones significativas (Fig. 13). Finalmente cabe mencionar que estas variables no presentan relación significativa con la producción de montículos en el previo análisis de componentes.

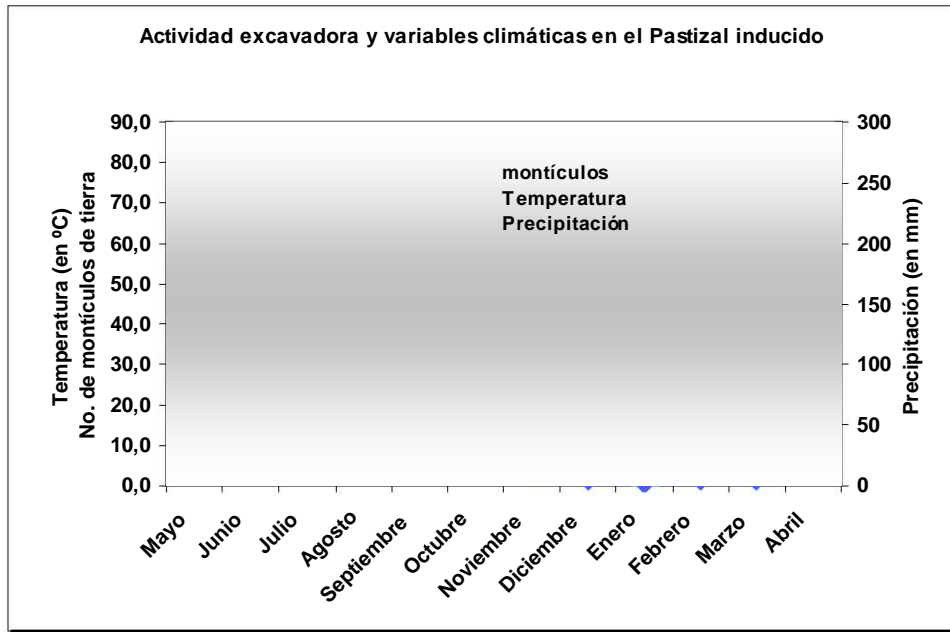
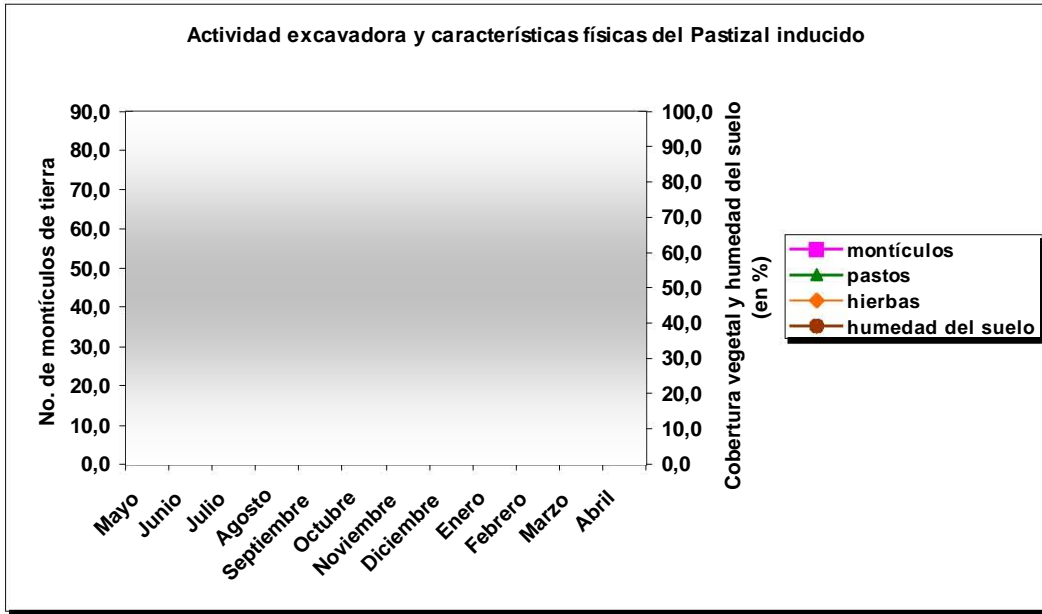


Figura 13. Actividad excavadora de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus*, y su relación con las características físicas y las variables climáticas en el pastizal inducido, en Milpa Alta, D. F.

Estacionalidad y Actividad Excavadora

La comparación, mediante ANOVA y pruebas de Tukey (Cuadro 5), de la actividad excavadora de las tuzas entre las épocas húmeda y seca y entre los tres hábitats, mostró que; durante la época húmeda existen diferencias significativas entre estos en la producción de montículos, al igual que en la remoción de kg de tierra ($\alpha \leq 0.05$).

Mediante las comparaciones de Tukey, se observó que el bosque fue el que presentó diferencias con el cultivo de avena respecto a la actividad excavadora de las tuzas durante la estación de lluvias. En cambio, no se observaron diferencias significativas entre el cultivo de avena y el pastizal inducido. Por otra parte, en el análisis para la época seca, se encontró que la actividad excavadora de las tuzas fue la misma entre los tres hábitats, ya que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ellos ($F > 0.05$; Cuadro 5).

Cuadro 5. ANOVA de la comparación entre hábitats, sobre la actividad excavadora de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus*, durante las épocas húmeda y seca en Milpa Alta, D. F. Los valores estadísticamente significativos ($p \leq 0.05$) se encuentran marcados con letras negritas. Los datos representan la media y la desviación estándar para cada variable, de acuerdo al hábitat. Si = existen diferencias significativas; y No = no existen diferencias significativas.

	Bosque (B)	Avena (A)	Pastizal (P)	B * A	B * P	A * P	F (p)
Variable	Época húmeda						
No. de montículos	17 ± 9	128 ± 63	86 ± 51	Sí	No	No	8.4 (0.004)
Kg de tierra removida	50 ± 33	450 ± 284	226 ± 161	Sí	No	No	6.7 (0.008)
	Época seca						
No. de montículos	47 ± 37	124 ± 64	162 ± 155	No	No	No	2.1 (0.161)
Kg de tierra removida	148 ± 109	320 ± 183	510 ± 454	No	No	No	2.34 (0.131)

El análisis individual de la actividad mensual, mediante la Prueba de Kruskal Wallis (Cuadro 6), para cada hábitat, mostró que en el bosque y pastizal inducido no existen diferencias significativas a lo largo del año (Fig.14); por el contrario, para el cultivo de avena, se registraron diferencias significativas para los meses de abril y mayo, los cuales presentaron un intervalo promedio distinto a el resto ($p < 0.05$). Cabe mencionar que en estos meses, el cultivo se encuentra en las etapas de barbecho y siembra, respectivamente, coincidiendo con una disminución en la actividad excavadora de las tuzas (Fig.14).

Cuadro 6. Comparación mensual de la actividad excavadora de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus* en los diferentes hábitats de Milpa Alta, D. F. Los datos representan los intervalos promedio de cada mes, en cada variable, para cada hábitat. Los valores estadísticamente significativos se encuentran marcados con letras negritas. En la prueba de Kruskal Wallis (H), p = probabilidad, g. l. = grados de libertad.

Meses	Bosque		Avena		Pastizal	
	Montículos	kg de tierra	Montículos	kg de tierra	Montículos	kg de tierra
Enero	42.1	40.8	43.2	45.1	44.3	47.8
Febrero	29.7	30.8	39.8	37.2	30.8	30.3
Marzo	31.2	31.4	46.9	44.1	29.5	29.8
Abril	38.9	39.4	16.3	15.0	56.8	58.2
Mayo	31.0	30.6	14.6	16.2	37.0	35.4
Junio	43.2	43.5	30.5	37.1	40.7	40.7
Julio	33.0	33.6	47.3	47.5	31.9	29.9
Agosto	35.3	33.9	46.2	40.5	27.9	27.4
Septiembre	29.1	27.1	35.7	31.5	29.1	22.8
Octubre	33.4	33.2	43.6	54.6	31.3	33.8
Noviembre	47.7	49.3	48.7	45.3	42.3	45.4
Diciembre	43.5	44.4	25.3	24.0	36.3	36.6
Rango promedio	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5
Kruskal Wallis	H = 6.80 p = 0.815 g. l. = 11	H = 7.98 p = 0.715 g. l. = 11	H = 22.29 p = 0.022 g. l. = 11	H = 23.80 p = 0.014 g. l. = 11	H = 11.01 p = 0.443 g. l. = 11	H = 15.53 p = 0.160 g. l. = 11

En las gráficas de actividad excavadora mensual en los tres hábitats, a pesar de no existir diferencias estadísticamente significativas entre los meses, se presentan picos de actividad altos y bajos. Para el bosque, los picos altos de actividad alta se dieron en los meses de noviembre, diciembre y abril, mientras que los picos de actividad baja, se dan en los meses de septiembre y marzo (Fig.14). En el cultivo de avena los picos más altos de actividad excavadora se notan en los meses de julio, agosto, octubre; durante estos meses se presenta el aumento en la cobertura de avena; en enero, febrero y marzo, la avena es cortada y se acumula en gavillas y mogotes. Por otro lado, los picos bajos se presentan en los meses de abril y mayo que precisamente fueron diferentes significativamente a lo largo del año en el cultivo, y en éstos, las etapas correspondientes son barbecho y siembra, respectivamente (Fig.14). Para el pastizal inducido, tenemos que los picos de actividad excavadora más alta se observaron en los meses de junio, noviembre, enero y abril; mientras que los picos bajos se registraron en los meses septiembre, octubre, diciembre y marzo (Fig.14).

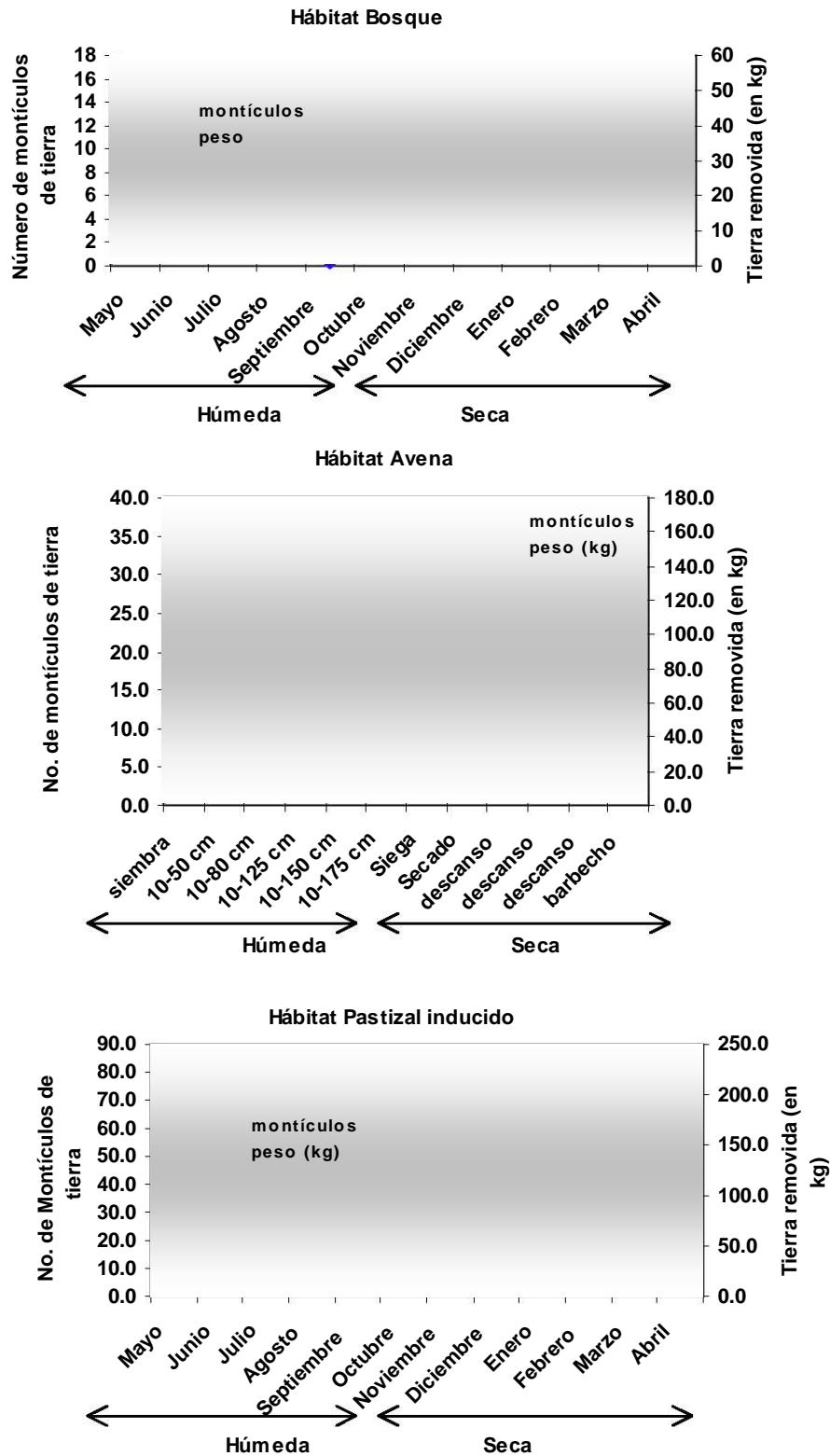


Figura 14. Actividad excavadora mensual de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus* en los diferentes hábitats de Milpa Alta, D. F.

Los resultados no significativos de la prueba de t de Student, indican que la actividad excavadora de las tuzas fue la misma en las dos épocas húmeda y seca en cada uno de los hábitats (Cuadro 7).

Cuadro 7. Comparación de la actividad excavadora de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus*, en cada tipo de hábitat de acuerdo con la época húmeda y seca en Milpa Alta, D. F. En el primer renglón, los datos representan la media y la desviación estándar para cada variable y en el segundo renglón, se muestran los valores para la t de Student a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, la probabilidad y los grados de libertad separados entre sí por comas.

Variable	Hábitat					
	Bosque		Avena		Pastizal	
	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca
No. de montículos	17 ± 9	47 ± 37	128 ± 63	124 ± 64	86 ± 51	162 ± 155
	-1.95, 0.108, 5		0.10, 0.923, 9		-1.14, 0.299, 6	
Kg de tierra removida	50 ± (33)	148 ± 109	450 ± 284	320 ± 184	226 ± 161	510 ± 454
	-2.11, 0.089, 5		0.94, 0.374, 8		-1.45, 0.199, 6	

Distribución de los Montículos de Tierra

Al analizar las frecuencias de los montículos de tierra en cada cuadrante, de acuerdo con el tipo de hábitat, obtuvimos que la distribución de los montículos presentó un patrón agrupado a lo largo de todo el año (Cuadro 8. Fig. 15).

Cuadro 8. Patrón de distribución de los montículos de tierra producidos por la actividad excavadora de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus* en Milpa Alta, D. F., en cada tipo de hábitat. Los datos representan el índice de agregación (S^2/X) en donde si este es igual a 1, la distribución es al azar, si es menor que 1, distribución uniforme y si es mayor que 1, la distribución es agrupada. El valor de la chi cuadrada (X^2), fue de 13.84 para todos los casos; $p = \leq 0.05$.

	Cuadrante	Hábitat			Cuadrante	Hábitat		
		Bosque	Avena	Pastizal		Bosque	Avena	Pastizal
S^2/X	1	7667	6.4	70.9	4	18.2	8.7	3.6
X^2		4124	39.8	342.8		138.8	41.7	44.5
S^2/X	2	1.4	1.11	362.5	5	220	6.0	40
X^2		122.1	66.6	457.3		549.0	39.6	34.1
S^2/X	3	1.9	2.5	2.4	6	4.3	12.9	53.5
X^2		60.1	62.0	93.8		132.1	36.8	32.1

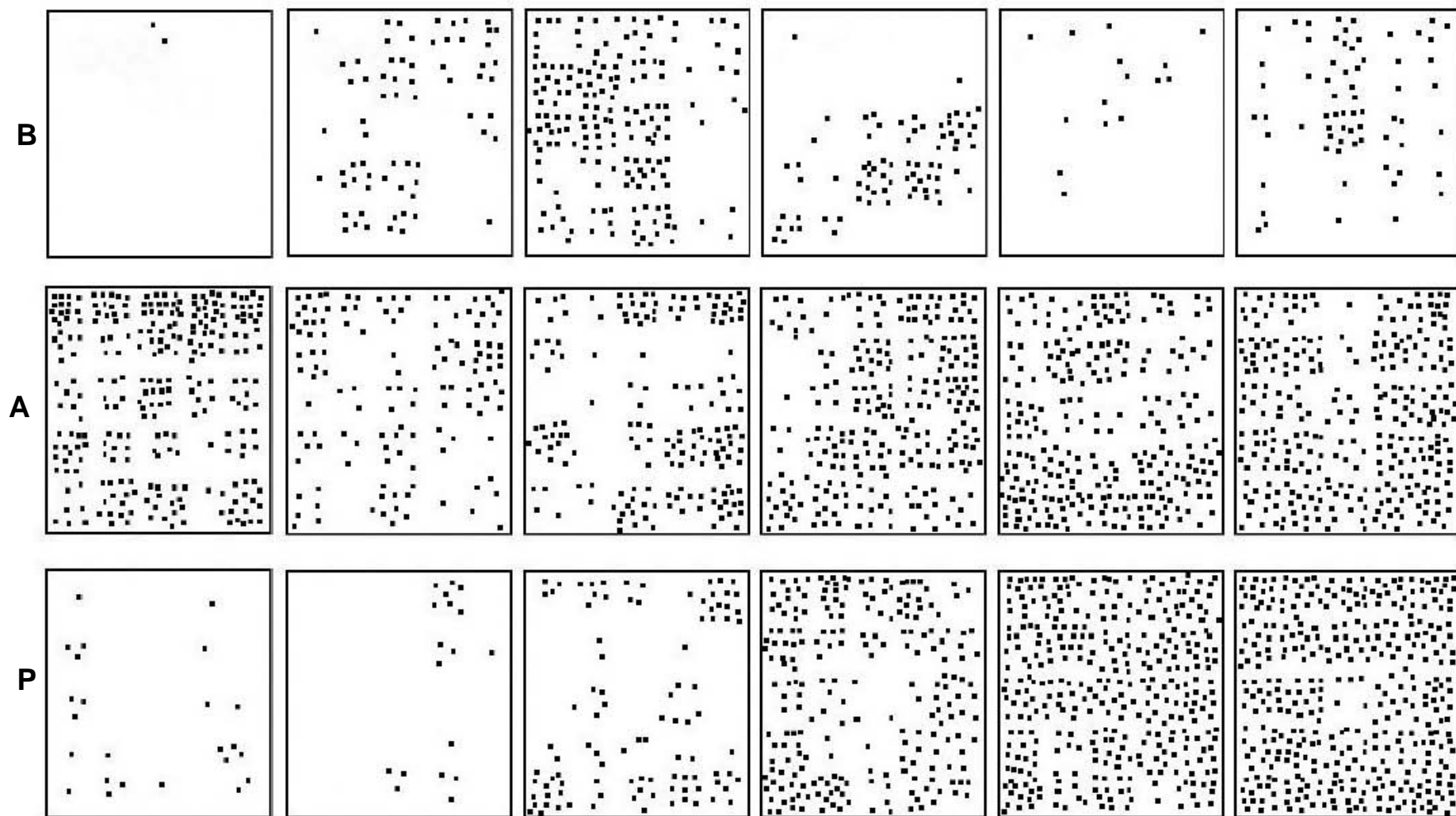


Figura 15. Distribución anual de los montículos de tierra hechos por las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus*, en: bosque (B), avena (A) y pastizal inducido (P) en Milpa Alta, D. F. El patrón es agregado ($S^2/X = >1$); en todos los cuadrantes.

DISCUSIÓN

Actividad Excavadora en los Tres Hábitats

Los resultados obtenidos en este estudio apoyan la hipótesis, de que se observarían diferencias en la actividad excavadora por parte de las tuzas entre un hábitat “natural” y dos áreas modificadas o alteradas por las actividades antropogénicas como lo son, el cultivo de avena y el pastizal inducido; el bosque es el que presenta la menor actividad excavadora. Estos resultados indican que, a diferencia del bosque, las áreas cultivada y los pastizales inducidos, les brindan fácil disponibilidad del alimento y buenas condiciones para establecer sus galerías. De hecho, la mayor producción de montículos se dio en los cultivos de avena y en el pastizal inducido por el pastoreo. Respecto a la cantidad de tierra removida, por las tuzas, se pudo observar que nuevamente en la avena y en el pastizal inducido fue donde se dio la mayor remoción de kilogramos de suelo.

En este estudio la cantidad de tierra removida durante un año en Milpa Alta, D. F., por las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus*, resultó en 10.2 toneladas de tierra removidas en un área total de 4050 m², lo cual es similar a la registrada para éstos y otros géneros de tuzas en diferentes localidades. Por ejemplo, en Texas *Geomys bursarius* removió en un año, 7 toneladas de tierra en un acre (4,047 m²; Buechner 1942), mientras que *Thomomys sp.* removió de 5 a 38 toneladas de tierra por acre por año, en praderas de montaña en Colorado (Richens, 1966). En Mixquic, D. F., *Cratogeomys merriami* removió 241 kg de tierra en un área de 625 m² durante un mes (Villa-C. 1983) y otro registro en California, indica que *Thomomys sp.* puede remover de 680 kg a 1115 kg de tierra al año (Ingles 1952).

En este estudio la actividad excavadora de las tuzas se monitoreó en conjunto, es decir, sumando la actividad excavadora de todos los ejemplares que se encontraban en los

cuadrantes. Sin embargo, el patrón de actividad excavadora es irregular entre tuzas de una misma especie, ya que hay diferencias notables en la actividad excavadora entre individuos y aún por un mismo ejemplar. Por ejemplo, el registro por horas de la actividad diaria en un individuo de *Geomys pinetis*, documentó la producción de 30 montículos en una noche y hasta 150 montículos en un lapso de 48 horas (Hickman y Brown 1973). Es posible que la edad y la etapa reproductiva en que se encuentren los animales puedan influir en su actividad excavadora, por lo que es necesario realizar estudios al respecto.

De lo anterior también se infiere que la producción de montículos de tierra, tanto a nivel de la población como del individuo, en diferentes especies de tuzas varía dependiendo del tipo de hábitat donde viven (bosques, praderas, pastizales, cultivos agrícolas o pastizal inducido), de las condiciones físicas y climáticas, así como de las etapas biológicas de las especies y de las manifestaciones etológicas ligadas a ellas.

Los resultados de este estudio muestran que diversas variables ambientales influyen en el patrón de actividad excavadora en tres tipos de hábitat, siendo mayor en las áreas deforestadas (cultivos y zonas perturbadas).

En ese sentido, el hombre con sus actividades agrícolas y ganaderas ha propiciado condiciones favorables para estos roedores, los cuales aprovechan cualquier oportunidad para aumentar su supervivencia. De hecho, la preferencia de las tuzas por los cultivos, en donde se han convertido en especies plaga, está bien documentada en estudios enfocados a su control, pues tanto las condiciones favorables que encuentran como la exterminación de gavilanes, lechuzas, búhos, serpientes, tlalcoyotes, comadrejas, entre otros de sus depredadores naturales, les ha permitido extenderse hacia áreas abiertas o hacia los campos de cultivo (Villa-R. 1952; González-Romero 1981; Villa-C. 1983, 1989;

Cervantes *et al.* 1993; Witmer *et al.* 1996; Wiscomb y Messmer 1998; Villa-C. 2000 ; Villa-R. y Cervantes 2003;).

Smallwood *et al.* (2001) comprobaron que las tuzas de la especie *Thomomys bottae*, prefieren establecerse en cultivos de alfalfa a las zonas naturales aledañas; asimismo, se ha visto que esta especie se desarrolla corporalmente mejor en los cultivos de alfalfa, que en los hábitats naturales, ya que en la alfalfa representa un alimento de mayor calidad nutricional (Patton y Brylski 1987). Es posible que algo parecido suceda en Milpa Alta, D. F., en donde los cultivos de avena harían las veces de un alimento de mayor calidad y disponible en grandes cantidades, comparado con la vegetación natural. Para comprobar esto, sería necesario desarrollar estudios que permitieran detectar diferencias morfométricas entre ejemplares alimentados en los cultivos de avena y aquellos que se quedan en la vegetación nativa, así como analizar la calidad bromatológica de la vegetación circundante que estuviesen consumiendo las tuzas, en comparación con la avena.

La preferencia de las tuzas por pastizal inducido también se ha documentado, en relación con zonas que se ocupan para el pastoreo del ganado. Por ejemplo, *Thomomys bottae*, que se muestra activa todo el año en pastizales de California, se ve afectada por la presencia del ganado, ya que en ausencia de éste, aumenta su actividad excavadora (Hobbs y Mooney 1991). Asimismo, en Milpa Alta, se observó que en el pastizal inducido, el paso continuo de ganado ovino (cabras y borregos), durante el pastoreo, ocasiona la destrucción de las galerías, lo que podría estar provocando que las tuzas produzcan un mayor número de montículos, al tratar de reconstruir sus túneles.

En Milpa Alta, las dos especies de tuzas fueron poco activas en el bosque, prefiriendo los “nuevos hábitats”, por lo que se puede inferir que las extensas áreas de cultivo y las zonas

de pastoreo en la zona, favorecen a las poblaciones de tuzas, ya que estos lugares les ofrecen disponibilidad de alimento y madrigueras seguras; además, en estas áreas deforestadas, las actividades humanas, propician que los depredadores no se acerquen o simplemente los eliminan por medio de la cacería.

Características del Hábitat y Actividad Excavadora

Con relación a la influencia de las características del hábitat sobre la actividad excavadora de las tuzas, y a la luz de los resultados que generan los análisis de correlación y el Análisis de Componentes Principales, se puede concluir que la cobertura vegetal es la que tuvo relación directa con la actividad excavadora de las tuzas. En el bosque, la interacción de pastos y hierbas se correlaciona con la producción de montículos, especialmente con la mayor cantidad de los últimos, cuyos porcentajes se mantienen constantes a lo largo de todo el año (Fig. 9).

En el cultivo de avena destacaron la cobertura del cultivo y también de la vegetación herbácea, ya que ambas están altamente correlacionadas con la actividad excavadora de las tuzas. Cabe mencionar que se observaron picos de actividad a lo largo de todas las etapas del cultivo de avena (mayo-octubre), lo cual indicaría que al término del mismo (noviembre y diciembre), la base de alimentación de las tuzas fue la vegetación herbácea nativa (enero y febrero; Fig. 9).

Para el pastizal inducido, no se encontró relación con la cobertura vegetal, ni con ninguna otra característica del lugar considerada en este estudio. Tal vez esto se deba a que puede existir una relación más estrecha con otros factores como el daño que ocasiona a sus galerías el pastoreo del ganado, ya que este hábitat fue de los que presentó mayor actividad excavadora. Otros factores que pueden tener más influencia sobre la actividad

excavadora de las tuzas serían la búsqueda de pareja, el destete de las tuzas jóvenes y, por su marcada territorialidad, la búsqueda de nuevos sitios para construir sus madrigueras. Bajo estos supuestos, sería necesario realizar estudios *ad hoc*.

Se ha mencionado a la humedad del suelo como causa de que éste sea más suave o más compacto (Laycock 1957; Miller y Bond 1960; Miller 1964) y también se ha documentado que las tuzas prefieren suelos suaves y con buen drenaje (Miller 1964). Sin embargo, en Milpa Alta, la humedad del suelo no mostró alguna influencia sobre la producción de montículos de las tuzas en ninguno de los tres hábitats. Este resultado, probablemente se debe a que la humedad del suelo tampoco mostró cambios drásticos, es decir, que se mantuvo constante a lo largo de todo el año; en cambio sí presentó una relación significativa con la precipitación en los tres hábitats.

En Milpa Alta, los niveles de lluvia no ocasionaron la anegación de los terrenos, como tampoco se presentó una elevación drástica en la temperatura, lo que evitó que los suelos fueran estacionalmente secos en extremo. De esto se infiere que las condiciones del suelo fueron estables y favorables durante todo el año, lo cual ocasionó que la actividad excavadora de las tuzas fuese independiente de la humedad del suelo. De manera análoga, la temperatura y la precipitación tampoco tuvieron una relación significativa con la actividad excavadora de las tuzas en Milpa Alta, aún cuando se ha mencionado que ambas están relacionadas con la actividad excavadora de las tuzas (Bandoli 1981; Hickman y Brown 1973; Miller 1964).

Estos resultados hacen pensar que pueden existir otros parámetros ecológicos o biológicos, que estén interactuando con la actividad excavadora de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus* en Milpa Alta. Entre los parámetros que podrían causar alteraciones en la actividad excavadora de las tuzas, pueden estar la selección o

preferencia por el alimento, los procesos reproductivos, patrones de competencia y de territorialidad, o bien, la influencia que tienen las actividades antropogénicas (establecimiento de campos de cultivo, zonas de pastoreo, cacería furtiva etc.) que cada vez abarcan mayor superficie y son más intensas.

Estacionalidad y Actividad Excavadora

Al comparar en conjunto, la actividad excavadora de los tres hábitats analizados en Milpa Alta, se encontraron diferencias entre las temporadas húmeda y seca. Se observó que durante la temporada de lluvias, el bosque presenta una menor producción de montículos, comparado con el cultivo de avena, pero no así con el pastizal inducido. En cambio, durante la época seca, la producción de montículos fue la misma en los tres ambientes.

Por otro lado, cuando se compararon las estaciones en cada uno de los hábitats, se hallaron diferencias en la actividad excavadora a lo largo de las dos estaciones. Sin embargo, como en cada uno de los hábitats, la actividad excavadora de las tuzas es constante a lo largo de todo el año, la humedad ambiental y del suelo no parece ser un factor determinante en una zona con las condiciones climáticas de Milpa Alta, D. F. Es posible que no se observe un patrón estacional marcado en la actividad de las tuzas debido a que se observaron picos de actividad, tanto en meses húmedos como en meses secos, para los tres hábitats, en el análisis mensual de la actividad excavadora.

La evaluación del promedio mensual de actividad excavadora, también permitió constatar que las tuzas son activas todo el año y solo en el caso del cultivo de avena, disminuyen un poco su actividad durante las etapas de siembra y barbecho (abril y mayo), que es cuando no hay vegetación en los cultivos, ya que por los trabajos del barbecho y

siembra, los terrenos están libres de cualquier tipo de vegetación, hasta que empieza a germinar la avena. Pero después de estas etapas, las tuzas vuelven a presentar actividad excavadora a lo largo de todo el proceso del cultivo. Esto concuerda con lo hallado por Villa-C. (2000), quien en su estudio para evaluar el daño ocasionado por tuzas, sobre los cultivos de maíz en Mixquic, D. F. reporta que afectan el cultivo durante todas sus etapas, exceptuando la etapa del barbecho que empieza de enero a marzo.

Se han reportado resultados contrastantes acerca de la influencia que tiene la precipitación sobre la actividad excavadora de las tuzas. Por ejemplo, se ha mencionado una fuerte asociación entre la precipitación y la tasa de producción de montículos en *Thomomys bottae* (Miller 1948), mientras que en un estudio con *Thomomys talpoides* (Miller y Bond 1960) y en otro con *Geomys pinetis* (Hickman y Brown 1973), no se observó una relación significativa entre ellas, por lo que se propone que otros factores, como la reproducción y los hábitos alimenticios, podrían tener una influencia estacional mayor sobre la actividad excavadora.

En relación con lo anterior, en su estudio sobre aspectos reproductivos y hábitos alimenticios de *Thomomys bottae*, Bandoli (1981) observó que los niveles de actividad excavadora en esta especie eran moderados en el verano, que eran más intensos en los meses de otoño (septiembre, octubre y noviembre) y que llegaban a valores más bajos durante el invierno y la primavera. Como sucedió en Milpa Alta, este autor también encontró una correlación baja entre la producción de montículos y la precipitación ($r = -0.12$; $P = < 0.71$), pero su estudio también le permitió demostrar una correlación alta con el forrajeo ($r = 0.89$; $P = < 0.001$), además de proponer una relación con la actividad reproductiva, ya que capturó hembras gestantes y lactantes, así como machos con testículos escrotados, durante los meses de mayor actividad excavadora.

De manera similar, Flores (1983) comprobó la existencia de hembras gestantes en *Pappogeomys merriami* (actualmente *Cratogeomys*) durante toda la época seca en Huitzilac, Morelos, mientras que a partir del mes de marzo, observaron la dispersión de tuzas juveniles de sus madrigueras paternas. Con base en este estudio y el de Bandoli (1981), es muy probable que en un lugar como Milpa Alta, en el que cuentan constantemente con opciones diversas de alimentación y con un entorno propicio para hacer sus madrigueras, tanto *Cratogeomys merriami* como *Thomomys umbrinus* sean más activas, tanto por sus actividades de forrajeo como reproductivas, ya que se reproducen a lo largo de todo el año (Ceballos y Galindo 1984).

Distribución de los montículos

En el presente estudio se analizó la distribución de las poblaciones de las tuzas de una manera indirecta, a través los montículos de tierra. El patrón de distribución agregado que se observó en los montículos de tierra en todos los hábitats (bosque, avena y pastizal inducido), era de esperarse, ya que este patrón es el más frecuente en la naturaleza, pues aquellos hábitats que tienen la mejor combinación de factores ambientales (luz, agua, temperatura, alimento, etc.), rara vez están distribuidos de manera uniforme (López *et al.* 1995). Además, se sabe que la distribución agrupada, facilita la adaptación y aumenta la supervivencia en las especies animales, aún cuando también aumenta la competencia por factores como el alimento, la luz, el agua y el espacio entre otros (Southwood 1966; López *et al.* 1995).

En Milpa Alta existe una interacción de ambientes representados por los distintos hábitats; esto es, hay pequeños terrenos donde hay cultivos de avena, otros se ocupan para el pastoreo y en otros parches se encuentran los remanentes de bosque, de manera

que los recursos también se distribuyen de una manera agrupada y, por ende, también los montículos de las tuzas. Dado lo anterior, es factible proponer que el patrón de distribución agrupado de los montículos, obedece a la distribución en parches que presenta la cobertura vegetal especialmente de hierbas y, sobre todo, de pastos, los cuales representan recursos alimenticios, así como de los terrenos en donde la extirpación de árboles facilita el acceso a suelos con condiciones idóneas para que las tuzas construyan sus galerías.

En la zona de estudio, la agrupación de los montículos alrededor de estas condiciones, seguramente facilita que las tuzas de las dos especies estudiadas no tengan que dispersarse para conseguir alimento, para encontrar las mejores condiciones de suelo, o para encontrar una pareja durante la época de reproducción. De hecho, es posible que el patrón agregado de distribución les ofrezca mayor éxito reproductivo a ambas especies, ya que se reproducen a lo largo de todo el año (Ceballos y Galindo 1984), aún cuando como todas las tuzas, sean territoriales y muestren una conducta conespecífica muy agresiva (Ceballos y Galindo 1984; Chase *et al.* 1987). La distribución agrupada de los montículos de *Cratogeomys merriami* y de *Thomomys umbrinus* en Milpa Alta, permite suponer que en los tres hábitats (bosque, avena y pastizal inducido), existen recursos básicos (alimento y condiciones edáficas) para su supervivencia y, más interesante aún, es que estos recursos se mantienen a lo largo de todo el año.

Consideraciones Finales Sobre la Importancia ecológica de las tuzas

Las tuzas juegan un papel relevante en su ecosistema, ya que al remover la tierra incorporan material orgánico que mejora la cantidad de humus en el suelo, proporcionan aireación a la tierra mediante la construcción de sus galerías y mejoran tanto el flujo de

agua como su absorción en la tierra con lo que contribuyen en la ecología y biología de otras especies (Ellison y Aldous 1952; Villa-R. 1952; Witmer *et al.* 1996; Villa-C. 2000; Villa-R. y Cervantes 2003).

La remoción de la tierra por las tuzas para producir sus montículos, favorece el acceso a nutrientes y minerales que activan la regeneración de las comunidades de plantas silvestres, durante los procesos de sucesión, sobre todo en pastizal inducido por las actividades de pastoreo, lo cual también es importante porque la producción de montículos favorece el crecimiento y desarrollo de plantas herbáceas que son base alimenticia del ganado bovino (Laycock y Richardson 1975; Grant *et al.* 1980; Vázquez 1995; Klaas *et al.* 1998; Rezsutek y Cameron 2000).

Además, las galerías, madrigueras y montículos que construyen las tuzas, son aprovechados como refugio por otros vertebrados (Chase *et al.* 1987); por ejemplo, los montículos de tierra, proporcionan un microhábitat para la incubación de huevos de algunas especies de salamandras (*Ambystoma* sp.) y de reptiles, mientras que sus madrigueras o túneles viejos, se llegan a ocupar por otras especies como serpientes (*Crotalus* sp.), conejos (*Sylvilagus* sp.), ardillas (*Spermophilus*), ratones de campo (*Microtus*, *Peromyscus*) y hasta por comadrejas (*Mustela* sp.).

En contraposición, y a la luz del impacto económico que pueden ocasionar las tuzas sobre los cultivos, es necesario estimar realmente el grado de daño y buscar alternativas de control que no perjudiquen a las poblaciones de tuzas ni a los ecosistemas naturales en donde habitan, ya que los venenos (sulfato de estricnina, arsénico blanco, bromuro de metilo, compuesto 1080 entre otros; Aguilar 1990; Wiscomb y Messmer 1998) que son empleados con más frecuencia para combatirlas, son los que causan daños a largo plazo en los sistemas naturales. En ese sentido, se recomienda realizar estudios que incluyan

aspectos reproductivos, alimenticios, conductuales, entre otros, para tener una mejor idea integrada de la ecología y biología de las tuzas, así como del impacto de las que estos roedores pueden estar ocasionando en lugares como Milpa Alta, o bien, para conocer el efecto que la alteración del ambiente natural tiene sobre la dinámica poblacional de las tuzas y de las especies asociadas.

CONCLUSIONES

- Existen diferencias significativas en la actividad excavadora de las tuzas *Cratogeomys merriami* y *Thomomys umbrinus* entre los tres hábitats: Bosque, Cultivo de Avena y Pastizal inducido.
- La cobertura vegetal está relacionada con la actividad excavadora de las tuzas *C. merriami* y *T. umbrinus*, el resto de las variables no muestran un efecto significativo sobre la producción de montículos.
- No se encontraron diferencias significativas en la producción de montículos entre las épocas húmeda y seca dentro de los tres hábitats. Las tuzas *C. merriami* y *T. umbrinus* no presentan un patrón estacionalmente marcado en su actividad excavadora.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, V. B. C. 1990. Diagnóstico para la determinación de metodologías en el combate y control de la población de tuzas en un vivero forestal. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de México. México, D. F. 70 pp.
- Andersen, D. C. 1987. *Geomys bursarius* burrowing patterns: influence of season and food patch structure. *Ecology* 68:1306-1318.
- Bandoli, J. H. 1981. Factors influencing seasonal burrowing activity in the pocket gopher, *Thomomys bottae*. *Journal of Mammalogy* 62(2):293-303.
- Benedix, J. H., Jr. 1994. A predictable pattern of daily activity by the pocket gopher *Geomys bursarius*. *Animal Behaviour* 48:501-509.
- Buechner, H. K. 1942. Interrelationships between the pocket gopher and land use. *Journal of Mammalogy* 23: 346-348.
- Castro-Campillo, A. y J. Ramírez-Pulido. 2000. Systematics of the Smooth-Toothed Pocket Gopher, *Thomomys umbrinus*, in the Mexican Transvolcanic Belt. *American Museum Novitates* 3297:1-37.
- Ceballos, G. González y Carlos Galindo L. 1984. Mamíferos silvestres de la cuenca de México. Ed. Limusa. México, D. F. 300 pp.
- Cervantes, F. A., V. J. Sosa; J. Martínez, R. M. González y R. C. Dowler. 1993. *Pappogeomys tylorhinus*. *Mammalian Species* 433:1-4.
- Chase, J. D., W. E. Howard y J. T. Roseberry. 1987. Pocket gophers. pp. 239-255 *in* Wild mammals of North America. Biology, management and economics (Joseph A. Chapman, y George A. Feldhamer) The Johns Hopkins University Press. Baltimore and London.

- Cox, G. W., y D. W. Allen. 1987. Soil traslocation by pocket gophers in a mima moundfield. *Oecología* 72:207-210.
- Daniel, W. W. 2004. Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. Ed. Trillas. México, D. F.
- Ellison, L. y C. M. Aldous. 1952. Influence of pocket gophers on vegetation of subalpine grassland in central Utah. *Ecology* 33(2):177-186.
- Flores R. J. A. 1983. Aspectos reproductivos sobre la tuza *Pappogeomys merriami merriami* (Rodentia:Geomyidae) de Huitzilac, Morelos. Tesis Profesional, Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. 82 pp.
- Gardner, W. H. 1986. Water content. Pp. 493-544 *in* Methods of Soil Análisis. Part 1. Physical and mineralogical methods. Agronomy Monograph 9 (2ª ed). American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- González-Romero, A. 1981. Roedores plaga en las zonas agrícolas del Distrito Federal. Publicación No. 7. Instituto de Ecología, Museo de Historia Natural de la Ciudad de México, 83 Pp.
- Grant, W. E., N. R. French y L. J. Folse, Jr. 1980. Effects of pocket gopher mounds on plant production in shortgrass prairie ecosystems. *The Southwestern Naturalist* 25(2): 215-224.
- Grinnell, J. 1923. The burrowing rodents of California as agents in soil formation. *Journal of Mammalogy* 4(3)137-149.
- Hall, E. R. 1981. The mammals of North America, vol 1. New York: Wiley Pp. 454-526.
- Hickman, G. C., y L. N. Brown. 1973. Mound-building behavior of the Southeastern pocket gopher (*Geomys pinetis*). *Journal of Mammalogy* 54(3):786-790.

- Hobbs, R. J. y H. A. Mooney. 1991. Effects of rainfall variability and gopher disturbance on serpentine annual grassland dynamics. *Ecology* 72(1):59-68.
- INEGI, 1998. Carta Topográfica Milpa Alta. Clave E14A49. Escala: 1:50 000.
- INEGI, 1999. Fotografía aérea del volcán Tulmiac, Delegación Milpa Alta; México, D. F. Escala: 1: 10 000.
- Ingles, L. 1952. The ecology of the pocket gopher, *Thomomys monticola*. *Ecology* 33:87-95.
- Klaas, B. A., B. J. Danielson y K. A. Moloney. 1998. Influence of pocket gophers on meadow voles in a tallgrass prairie. *Journal of Mammalogy* 79(3):942-952.
- Laycok, W. A. 1957. Seasonal periods of surface inactivity of the pocket gopher. *Journal of Mammalogy* 38(1):132-133.
- Laycok, W. A. 1958. The initial pattern of revegetation of pocket gopher mounds. *Ecology* 39:346-351.
- Laycok, W. A. y B. Z. Richardson. 1975. Long-term effects of pocket gopher control on vegetation and soils of a subalpine grassland. *Journal of Range Management* 28(6):458-462.
- López, J. F., de la Cruz Agüero, G., A. Cruz Gómez., A. Rocha Ramírez., N. Navarrete Salgado., G. Flores Martínez., E. Kato Miranda., S. Sánchez Colón., L. G. Abarca Arenas. y C. M. Bedia Sánchez. 1995. Distribución y estimación del tamaño de la población a partir de la densidad. Pp. 29-36 in *Manual de Ecología*. Ed. Trillas. México, D. F. 262 pp.
- Microsoft Excel Software 1998-2000. Copyright Microsoft Corporation 1985-2001. New York. Todos los derechos reservados.

- Minitab Inc. 2003. Statistical Software, Release 14 for Windows, State College, Pennsylvania.
- Miller, M. A. 1946. Reproductive rates and cycles in the pocket gopher. *Journal of Mammalogy* 27:335-358.
- _____, 1948. Seasonal trends in burrowing of pocket gophers (*Thomomys*). *Journal of Mammalogy* 29 (1):38-44.
- _____, 1957. Burrows of the Sacramento Valley pocket gopher in flood-irrigated alfalfa fields. *Hilgardia* 26:431-452.
- Miller, R. S. y Bond, H. E. 1960. The summer burrowing activity of pocket gophers. *Journal of Mammalogy* 41 (4): 469-475.
- Miller, R. S. 1964. Ecology and distribution of pocket gophers (Geomyidae) in Colorado. *Ecology* 45(2):256-272.
- Narayan G. C. 1996. *Multivariate Statistical Analysis*. ed. Marcel Dekker, Inc. New York. 240 pp.
- Navarro, F. F. J. 2002. Los mamíferos silvestres de la Delegación Milpa Alta. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del I. P. N., México. 66 pp.
- Nowak, R. M. y J. L. Paradiso. 1983. *Walker's Mammals of the World*. The Johns Hopkins University Press. Baltimore and London. Vol. I. 568 pp.
- Patton J. L. y Phillip V. Brylski. 1987. Pocket Gophers in alfalfa fields: causes and consequences of hábitat-related body size variation. *The American Naturalist* 130: 493-506.
- Ramírez-Pulido, J., A. Castro Campillo, J. Arroyo-Cabrales y F. A. Cervantes. 1996. Lista Taxonómica de los mamíferos terrestres de México: A taxonomic list of the terrestrial mammals of Mexico. *Occas. Papers Mus., Texas Tech Univ.* 158: 1-62.

- Reid, V. H., R. M. Hansen y A. L. Ward. 1966. Counting mounds and earth plugs to census mountain pocket gophers. *Journal of Wildlife Management* 30(2):327-334.
- Rzedowski, J. 1986. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México, D. F. 432 pp.
- Rezsutek M. y G. N. Cameron. 2000. Vegetative edge effects and pocket gopher tunnels. *Journal of Mammalogy* 81(4):1062-1070.
- Richens, V. B. 1966. Notes on the digging activity of northern pocket gopher. General notes. *Journal of Mammalogy* 47(3):531-533.
- Smallwood K. S., S. Geng y M. Zhang. 2001. Comparing pocket gophers (*Thomomys bottae*) density in alfalfa stands to assess management and conservation goals in northern California. *Agriculture Ecosystems and Environment* 87:93-109.
- Southwood T. R. E. 1966. *Ecological methods with particular reference to the study of insect population*. Halsted press. London, Chapman y Hall. 391 p.
- SPSS Inc. 2000. *Statistical Software, Release 11 for Windows*. Copyright SPSS INC.
- Vázquez, L. I. 1995. Influencia de los montículos formados por las tuzas, (*Pappogeomys merriami merriami*), en la producción vegetal de pastizal del rancho San Lorenzo, Tres Marías, Morelos, México. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales, campus Iztacala. UNAM. Los Reyes Iztacala, Edo. Méx. 45 pp.
- Villa-C., B. 1983. Impacto negativo de una especie de roedor hipogeo (Mammalia: Geomyidae) en la agricultura y positivo en la edafología. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Ser. Zool.* 54(1): 237-242.

- _____, 1989. Características generales de la construcción de las galerías de *Pappogeomys merriami merriami* (Rodentia:Geomyidae) en Chalco, México. Anales del Instituto de Biología. UNAM, Ser. Zool. 59(1):117-122.
- _____, 2000. Evaluación del daño ocasionado por la tuza *Pappogeomys merriami* en cultivos de maíz en Mixquic, D. F. Anales del Instituto de Biología, UNAM, Ser. Zool. 71(2):185-191.
- Villa, R., B. 1952. Significación económica de los mamíferos. Anales del Instituto de Biología. UNAM. México, XXIII: 285-295.
- Villa-R. B. y F. A. Cervantes, 2003. Los mamíferos de México. Grupo editorial Iberoamérica. México, D. F. 140 pp. y CD.
- Williams, B. K., J. D. Nichols y M. J. Conroy. 2002. Design of experiments in animal ecology. Pp. 80-106 *in* Analysis management of animal populations. Ed. Academic Press. United States of America.
- Wiscomb G. W. and Terry A. Messmer. 1998. Pocket Gophers. Wildlife Damage Management Series. August: 1-7. Pp. Utah State University, Logan, Utah.
- Witmer, G. W., R. D. Sayler y M. J. Pipas. 1996. Biology and hábitat use of the mazama pocket gopher (*Thomomys mazama*) in the Puget Sound area, Washington. Northwest Science 70(2):93-98.
- Zar, J. H. 1996. Biostatistical analysis. Prentice Hall. New Jersey. 121 pp.