PARÁMETROS POBLACIONALES DE LA ARDILLA ENDÉMICA DE PEROTE (*Xerospermophilus perotensis)* Y SU HÁBITAT.

TESIS QUE PRESENTA **SANDRA HELENA MONTERO BAGATELLA**

PARA OBTENER EL GRADO DE **DOCTOR EN CIENCIAS**

Xalapa, Veracruz, México 2017

INECOL
INSTITUTO DE ECOLOGÍA, A.C.

Aprobación final del documento de tesis de grado:

Título de la tesis en comillas:

"Densidad, estructura poblacional y hábitat de *Xerospermophilus perotensis* (Merriam, 1893) en el Valle de Perote, Veracruz".

	Nombre	Firma
Director	Dr. Alberto González Romero	
Comité Tutorial	Dra. Sonia Gallina Tessaro	
	Dr. Gerardo Sánchez Rojas	
Jurado	Dr. Gonzalo Castillo Campos	
	Dra. Areli Rizo Aguilar	
	Dr. Gustavo Arnaud Franco	
	Dr. Eduardo Pineda Arredondo	

Aprobación final del documento de tesis de grado:

Título de la tesis en comillas:

"Parámetros poblacionales de la ardilla endémica de Perote (*Xerospermophilus perotensis)* y su hábitat".

Sello digital del voto aprobatorio otorgado por la Dra. Areli Rizo Aguilar:

<<7tEÚ+KvgHbpÓyÍíüsÜm
2úwl8du)k]U3éVhYoT(C:ei[MLK9hL,ÍV¿VKL,DñK(Vhñ,nLÓL(V¿¿L,HLhG:V(hñ
,ÁñÉ¿LrUñKL¿V ,9V,¿L,Lh9U¿¿L,9V,HVhñ(V,ó,
8,0GÉU(L(,khLS,yhV¿U,xUeñ,yÓ8U¿Lh,Z08,FVÉ,.3,uzW.3Wub,.mu),9jQzq?rZÉDÑ0B-
45cóO1IWRA6fGJMXFáPÁNnaS;ñL¿x>>

Sello digital del voto aprobatorio otorgado por la Dr. Gustavo Arnaud Franco:

<<5
?:TfYPAó8)ÜktMFNhújqáÓUH]zÍ,0SVL1icD¿üblñí3tjgst(9OVOjt(áEjéOsE(NtktéOVVt(Ót
s?HOésEb(QEWVtñÑEjtVOb(gO(Vt(tsgÑVVt(gO(ÓOsEéO(l(bw(:?WÑété(ZsJ(pwbétPE(
Ísjtwg(stjñE(Ü:w(OW(rd(0Á[4d[rK(r40BÚsX3EÉdZ+ngyÁCQGJ2ra[IuO(;-
7éWoxRmw.69KBevpÑ>>

En esta liga pueden verificar la autenticidad del sello digital:
https://inecol-posgrado.shinyapps.io/VERIF/VERIF.Rmd

RECONOCIMIENTOS

A mi país, que a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología me brindó una beca para la realización del Doctorado.

Al Instituto de Ecología, A. C, personal de posgrado e investigadores y por las facilidades brindadas a lo largo de mi formación.

A Granjas Carroll de México S de R.L, de C.V por su apoyo para llevar a cabo este trabajo.

A los ejidatarios de Perote por permitirnos trabajar en sus áreas.

A la Dirección General de Vida Silvestre por los permisos otorgados (SGPA/DGVS/05833/08 y SGPA/DGVS/03369/15) para la captura de los organismos.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Alberto González Romero por su eterna paciencia, disponibilidad y financiamiento en el desarrollo de este trabajo.

A los miembros del comité tutorial Dr. Gerardo Sánchez Rojas por sus asesorías y revisiones. A la Dra. Sonia Gallina Tessaro por su apoyo moral a lo largo de este camino y siempre pertinentes observaciones.

A los miembros del jurado Dr. Gonzalo Castillo, Dr. Gustavo Arnaud, Dra. Areli Rizo y Dr. Eduardo Pineda por sus comentarios para el proyecto y disposición para lograr llegar a término este trabajo.

Al Herbario del Instituto de Ecología, A. C, XAL; en particular a Carlos Durán e Israel Acosta por su ayuda en la identificación de ejemplares.

A las M en C. Cesia Castillo, Gabriela Delgadillo y Julia Ros por compartir sus datos con el fin de fortalecer esta investigación.

A los M en C. Alberto González, Alejandro González, Gabriela Delgadillo, Julia Ros, Victor Castelazo y Jessica Durán por su invaluable ayuda en el trabajo de campo. Al Biól. Pedro Franco por su apoyo para el estudio del material vegetal.

Al personal de posgrado, Dr. Roger Guevara, Bertha Ulloa, Ingrid Aguilar, Enrique Salinas, Emma Gómez y Juan Chávez por su amabilidad y disposición para ayudar.

A la red de Biología y Conservación de Vertebrados, a la M en C. Adriana Sandoval por su apoyo con los SIG y a Rocío Rodríguez por su ayuda y amistad.

A mi familia. A mis soles por ser la alegría de mi vida.

A Caro, por estar.

A Karli, Maya, Uriel, Vic, Toño, Indra, Mich, Ina, Johanna, Jules, Heck, Uchu y Mire por las risas compartidas

A mi Zirahuén y Cibeles… siempre.

DEDICATORIA

A Carlos y Mago,

por todo, y por tanto

DECLARACIÓN

Excepto cuando es explícitamente indicado en el texto, el trabajo de investigación contenido en esta tesis fue efectuado por Sandra Helena Montero Bagatella como estudiante de la carrera de Doctor en Ciencias entre agosto de 2012 y febrero del 2017, bajo la supervisión del Dr. Alberto González Romero

Las investigaciones reportadas en esta tesis no han sido utilizadas anteriormente para obtener otros grados académicos, ni serán utilizadas para tales fines en el futuro.

Candidato: M en C. Sandra Helena Montero Bagatella

Director de tesis: Dr. Alberto González Romero

ÍNDICE

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL 10

Literatura citada 15

CAPÍTULO II Annual cycle in an endemic Mexican Ground squirrel (*Xerospermophilus perotensis*)

Introduction 20

Material and Methods 22

Study design and data collection 23

Statistical analysis 23

Results 24

Discussion 26

Literature cited 31

Figure legends 41

CAPÍTULO III Relación entre las características de la vegetación y las densidades de la ardilla de Perote.

Introducción 45

Material y métodos 47

Resultados 50

Discusión 52

Referencias 57

Lista de figuras 65

IV CONCLUSIONES GENERALES 71

V RECOMENDACIONES 74

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

CAPÍTULO I

Table 1. Total number of *Xerospermophilus perotensis* caught, by sex, age and sampling year 35
Figure 1. Study area with the sites where sampling was conducted. The main localities and roads are also shown……..... 36
Figure 2. Mean monthly temperature and precipitation for Perote, Veracruz, 2008 - 2014. The number of captures of the Perote ground squirrel (*Xerospermophilus perotensis*) known to be alive from sampling is also shown…….....37
Figure 3. Sex and age ratios of the Perote ground squirrel (*Xerospermophilus perotensis*) recorded during its active cycle 38
Figure 4. Secondary sex characteristics of the Perote ground squirrel (*Xerospermophilus perotensis*) recorded during its active cycle. 39
Figure 5. Mean weight of the Perote ground squirrel (*Xerospermophilus perotensis*) by sex and age during its active cycle…. 40

CAPÍTULO II

Tabla 1. Densidades máximas y mínimas de la ardilla de Perote en los sitios de trabajo 62
Tabla 2. Resultados del análisis de componentes principales con respecto a la caracterización de las especies vegetales de las localidades de estudio. Se presenta la varianza explicada y acumulada por cada componente y el peso de contribución de cada variable. Se señala en negritas los valores más altos 63
Tabla 3. Especies vegetales con las coberturas más altas en los sitios de estudio. Se muestra su cobertura, altura y desviación estándar promedio.....65
Figura 1. Localización de los sitios de estudio 66
Figura 2. Riqueza vegetal total de los sitios de trabajo.....67
Figura 3. Composición vegetal de los sitios de estudio 68
Figura 4. Dendrograma de similitud de los sitios de estudio.....69
Figura 5. Análisis de Componentes Principales. 70

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

El hábitat se define como la suma de los recursos específicos que un organismo necesita y de las características geográficas, físicas, químicas y bióticas presentes en el área donde los organismos viven y se reproducen, así como de las condiciones que limitan su uso (Hall *et al*. 1997; Morrison et al. 1992; Orians y Wittenberger 1991). Puede cambiar estacionalmente y es específico para cada especie (Hall *et al.* 1997; Orians y Wittenberger 1991); además varía de acuerdo con el sexo y edad de los individuos, así como de la época y densidades de las poblaciones (Hall et al. 1997; Van Dyke 2007), pudiendo existir sobrelapamientos de las áreas (Burt 1943). La disponibilidad de estos recursos del hábitat influye en las habilidades para la reproducción y la sobrevivencia de los organismos (Anderson y Gutzwiller 1996; Morrison *et al*. 1992, Orians y Wittenberger 1991; Rabinowitz 1993).

Existen factores del hábitat como la calidad, el tamaño, la disponibilidad de alimento y agua que afectan la distribución, abundancia y dinámica de las poblaciones de las especies. Otros factores como las condiciones climáticas, interacciones ecológicas (competencia, depredación, etc.) o las características propias de las especies como su capacidad de dispersión, patrones de movimiento, especialización de hábitat y demografía que también pueden influir en las poblaciones de las especies, por lo que el conocimiento de las características del hábitat relevantes para las especies es fundamental para entender su distribución y abundancia (Morrison *et al.*1992; Orians y Wittenberger 1991; Van Dyke 2007). Esto es importante sobre todo en las endémicas, en las especialistas o en ambas, las cuales resultan prioritarias para la conservación debido a que son más vulnerables a la extinción ya que por su distribución restringida los cambios de uso de suelo o climáticos afectan de forma más drástica a toda su población (Pimm 1998; Shenbrot *et al.* 1999; Van Dyke, 2007).

La fragmentación del hábitat es uno de los factores que más ha contribuido a la pérdida de la diversidad biológica (Hall et al. 1997), ya que al favorecer modificaciones espaciales se pueden generar poblaciones aisladas, las cuales tienen mayor vulnerabilidad a catástrofes y por lo tanto presentan un mayor riesgo a la extinción (Morrison *et al.* 1992). La fragmentación puede generar pequeñas subpoblaciones, conectadas entre sí para permitir intercambios por medio de las migraciones (Hanski 1997), las cuales pueden mantener la estabilidad de la población, evitando un declive o

extinción poblacional (Shenbrot *et al.* 1999), aunque es posible que por la misma fragmentación se puedan desconectar estas subpoblaciones. Por lo anterior, es importante el poseer el conocimiento de las poblaciones de las especies, (tamaño, estructura poblacional, viabilidad) sobre todo de las que se encuentren en riesgo, para que de ser necesario se pueda ayudar a incrementar o estabilizar el tamaño de las poblaciones (Caughley 2000).

Xerospermophilus perotensis es una ardilla terrestre, endémica de Puebla y Veracruz (Best y Ceballos 1995), cuyo hábitat ha sido reducido y fragmentado por la agricultura, ganadería y el desarrollo urbano, provocando la existencia de poblaciones remanentes y aisladas, con poco o nulo intercambio de individuos y por lo tanto sin flujo genético (González-Ruíz *et al.* 2005; Mendoza-Carreón 2009; Valdez y Ceballos 1997), por lo que es una especie con pocas probabilidades de persistir y gradualmente desaparecer (Valdez y Ceballos 1997; Yensen y Sherman 2003). Debido a eso actualmente se encuentra clasificada en la categoría de Amenazada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 Norma Oficial Mexicana (SEMARNAT 2010), y en Peligro de Extinción en la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y Recursos Naturales (UICN) (Álvarez-Castañeda *et al.* 2008).

Las ardillas terrestres en general, son consideradas como especies clave, ya que proveen de varios beneficios a los ecosistemas que habitan; debido a que al cavar sus madrigueras permiten la aireación e infiltración de agua al suelo, también consumen y dispersan grandes cantidades de semillas, son una importante fuente de proteína para reptiles, aves y mamíferos y consumen insectos que podrían llegar a convertirse en plaga (Valdez 2003; Yensen y Sherman 2003). En ocasiones las poblaciones de las ardillas se elevan en demasía y causan daños a cultivos considerándose como plagas (Hoogland 2007).

Las densidades de las ardillas terrestres son variables y dependen de la época del año (estivación o hibernación), enfermedades, abundancia de depredadores o variaciones del hábitat (calidad de los recursos alimenticios). Una población de 20 adultos por hectárea puede ser lo normal, aunque con la emergencia de los juveniles pueden existir más de 50 animales por hectárea (Hayssen 2008).

Xerospermophilus perotensis

La ardilla endémica de Perote, también conocida localmente como moto o chichilote (Valdez y Ceballos 2005) es diurna, sociable y principalmente herbívora (Best y Ceballos 1995, Castillo-Castillo y González-Romero 2010). Su período reproductivo comienza en mayo y finaliza en agosto; su gestación dura 30 días y tienen cuatro crías en promedio (Castillo-Castillo 2009). La hibernación ocurre de finales de octubre a marzo, dentro de este período presentan períodos cortos de actividad alimentaria (Castillo Castillo 2009; Valdez y Ceballos 2003; Yensen y Sherman 2003). Prefieren habitar zonas abiertas con pastos cortos (Hannon *et al*. 2006; Yensen y Sherman 2003) aunque también se han registrado en áreas con algunos arbustos y en cultivos (Best y Ceballos 1995; Mendoza-Carreón 2009).

Los escasos estudios que se tienen acerca de la especie han sido realizados a escalas geográficas pequeñas y durante cortos períodos de tiempo abordando la dinámica y estructura poblacional (Castillo-Castillo 2009; Montero-Bagatella y González-Romero 2014; Ros 2013), genética (Fernández 2012; Ochoa *et al*. 2012), caracterizaciones del hábitat (Castillo-Castillo 2009; Delgadillo 2011), ámbito hogareño (Castillo-Castillo y González-Romero y 2010) y dieta (Hernández-Hernández 2012). El estudio sobre la biología de la especie, la relación que presenta con otras especies y su desempeño dentro de su sistema pueden proporcionar un conocimiento básico que derive en su conservación, así como en el establecimiento de programas de conservación y manejo de recursos (Rabinowitz 1997).

Objetivo de estudio

Debido a que la ardilla de Perote es una especie de suma vulnerabilidad, nos planteamos describir y analizar su ciclo anual, así como conocer la relación entre las condiciones climáticas y el tamaño poblacional. También se realizó una caracterización de hábitat en diferentes puntos. La información obtenida nos permitirá entender los patrones ecológicos que presenta y brindará las herramientas necesarias para entender los requerimientos necesarios para su protección y conservación, que junto con las acciones legales podrían lograr la conservación de la especie.

La tesis se divide en cinco capítulos acorde a los objetivos, incluyendo la presente introducción como capítulo I. El capítulo II aborda en general el ciclo anual de la ardilla, en dicho capítulo se evaluó la estructura y dinámica poblacional de *X. perotensis* en un período de tiempo abarcando de los años 2008 al 2014; también se evaluó la relación de la precipitación y temperatura de la zona de estudio con las densidades poblacionales de la especie. El capítulo III abarca el estudio de la vegetación del hábitat de la ardilla y su relación con la densidad poblacional de la especie. En el capítulo IV se presentan las conclusiones generales de este trabajo y finalmente en el capítulo V se abordan recomendaciones para estudios futuros, así como de manejo de recursos.

Literatura citada

Álvarez-Castañeda, S. T., I. Castro-Arellano, T. Lacher y E. Vázquez. 2008. *Spermophilus perotensis*. En: IUCN 2016. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2016. 3.1. http://www.iucnredlist.org. Acceso del 27 Septiembre 2016.

Anderson, S. y K. Gutzwiller. 1996. Habitat evaluation methods. Pp. 592-605. En: Bookhout T. (Ed.). Research and management techniques for wildlife and habitats. The Wildlife Society. Bethesda, Maryland. EU. 740 pp.

Best, T. y G. Ceballos. 1995. *Spermophilus perotensis*. Mammalian Species. 507:1-3.

Burt, W. 1943. Territoriality and home range concepts as applied to mammals. Journal of Mammalogy. 24: 346-352.

Castillo-Castillo, C. 2009. Densidad, estructura poblacional y hábitat de la ardilla endémica de Perote *(Spermophilus perotensis* Merriam, 1893). Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, A. C. México. 80 pp.

Castillo-Castillo, C. y A. González-Romero. 2010. Áreas de actividad de la ardilla endémica de Perote *Xerospermophilus perotensis*. Therya, Vol. 1 (1): 69-74.

Caughley, G. 2000. Analysis of vertebrate populations. The Blackburn Press. New Jersey. EU. 234 pp.

Delgadillo, G. 2011. Distribución, selección de hábitat y densidad de la liebre torda (*Lepus callotis*, Wrangler, 1830) en el Valle de Perote. Tesis de Maestría, Instituto de Ecología, A. C. México. 94 pp.

Fernández, J.A. 2012. Phylogenetics and biogeography of the microendemic rodent *Xerospermophilus perotensis* (Perote ground squirrel) in the Oriental Basin of México. Journal of Mammalogy 93: 1431-1439.

González-Ruíz, N., Álvarez-Castañeda S. y S., Álvarez. 2005. Distribution, taxonomy and conservation status of the Perote mouse *Peromyscus bullatus* (Rodentia: Muridae) in Mexico. Biodiversity and Conservation. 14: 3423-3436.

Hall, S. L, Krausman P. R. y M., L. Morrison. 1997. The habitat concept and a plea for standard terminology. Wildlife Society Bulletin. 25 (1): 173-1882.

Hannon, M., Jenkins S., Crabtree R. y A. Swanson. 2006. Visibility and vigilance: behaviour and population ecology of Uinta ground squirrels (*Spermophilus armatus*) in different habitats. Journal of Mammalogy. 87 (2): 287-295.

Hanski, I. 1997. Metapopulation dynamics: from concepts and observations to predictive models. Pp 69–91. En: Hanski I. y M. E. Gilpin (Eds). Metapopulation biology: ecology, genetics, and evolution. Academic, San Diego.

Hayssen, V. 2008. Reproductive effort in squirrels: ecological, phylogenetic, allometric and latitudinal patterns. Journal of Mammalogy. 89(3): 582-606.

Hernández-Hernández, J. 2012. Variación estacional y calidad de la dieta de la ardilla terrestre X*erospermophilus perotensis*, Merriam 1893, en la localidad el Frijol Colorado, municipio de Perote, Veracruz. Universidad Veracruzana. 58 pp.

Hoogland, J. 2007. Conservation of prairie dogs. Pp. 472- 477. En: Wolff, J. y P. Sherman (Eds). Rodent societies, an ecological and evolutionary perspective. The University of Chicago Press. Chicago. EU. 610 pp.

Mendoza-Carreón, G. 2009. Distribución y relaciones filogenéticas del moto (*Spermophilus perotensis*). Tesis de Maestría, Instituto de Ecología, A. C. México. 98 pp.

Montero-Bagatella, S. H. y A González-Romero. 2014. Análisis demográfico de una especie en estado crítico: la ardilla de Perote. Therya, 5, 737-750.

Morrison M. L, Marcot B., G. y W. R. Mannan. 1992. Wildlife-habitat relationships. Concepts and applications. The University of Wisconsin Press. EU.

Ochoa, A., Gasca, J., Ceballos, G. y L. Eguiarte. 2012. Spatiotemporal population genetics of the endangered Perote ground squirrel (*Xerospermophilus perotensis*) in a fragmented landscape. Journal of Mammalogy, 93, 1061-1074.

Orians, G. y J. Wittenberger. 1991. Spatial and temporal scales in habitat selection. The American Naturalist. 137: S29- S49.

Pimm, S. L. 1998. Extinction. Pp: 20-38. En: W. J. Sutherland (Ed). Conservation science and action. Blackwell Science. Oxford.

Ros, C. J. 2013. Densidad y estructura poblacional de *Xerospermophilus perotensis* Merriam 1893 (chichilote) a dos escalas de paisaje en el Valle de Perote Veracruz. Universidad Veracruzana. 54 pp.

Rabinowitz, A. 1993. Wildlife Field Research and Conservation Training Manual. Paul-Art Press Inc. EU. 281pp.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestre- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Nación (Segunda sección). México. 85 pp.

Shenbrot, G. I., Krasnov B. R. y K. A Rogovin. Spatial Ecology of Desert Rodent Communities. Springer. 1999.

Valdez, M. 2003. Las ardillas de México. Biodiversitas. 51: 1-7.

Valdez, M. y G. Ceballos. 1997. Conservation of endemic mammals of Mexico: the Perote ground squirrel (*Spermophilus perotensis*). Journal of Mammalogy. 78 (1): 74-82.

Valdez, M. y G. Ceballos. 2005. *Spermophilus perotensis* Merriam, 1893. Pp. 568-569. En: Ceballos, G. y G. Oliva (Eds.). Los mamíferos silvestres de México. Colección de Obras de Ciencia y Tecnología. CONABIO. Fondo de Cultura Económica. DF. México. 986 pp.

Van Dyke, F. 2008. Conservation biology. Foundations, concepts, applications. Springer. Segunda edición. EU.

Yensen, E. y P. Sherman. 2003. Ground squirrels. En: Feldhamer G., B. Thomson y J. Chapman (Eds.). Wild Mammals of North America. Biology, Management and conservation. The Johns Hopkins University Press. Segunda Edición. EU. 1216 pp.

CAPÍTULO II

ANNUAL CYCLE OF AN ENDEMIC MEXICAN GROUND SQUIRREL

(*Xerospermophilus perotensis*).

Enviado J. of Mammalogy

Annual cycle of an endemic Mexican Ground squirrel (*Xerospermophilus perotensis*).

S. H. Montero-Bagatella*, A. González-Romero, G. Sánchez-Rojas and S. Gallina Tessaro.

Red de Biología y Conservación de Vertebrados, Instituto de Ecología A.C., Carretera Antigua a Coatepec 351, El Haya, Xalapa, 91070 Veracruz, México (SHMB, AG-R, SG-T).

Laboratorio de Biología de la Conservación, Área Académica de Biología, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad del Conocimiento S/N, Km 4.5 de la Carretera Pachuca-Tulancingo, Col. Taxistas, Mineral de la Reforma, 42184 Hidalgo, Mexico (GS-R).

The seasonality and dynamics of climate and habitat result in ground squirrels making use of resources during the most favorable season and avoiding less favorable conditions by hibernating. The Perote ground squirrel (*Xerospermophilus perotensis*) is nationally and internationally classified as vulnerable to extinction, however our knowledge of this species is scant. The aim of this study was to describe and analyze its annual cycle. To this end, temperature and rainfall data (2008-2014) were used and captures were estimated by capture-mark-recapture. The results indicate that the phenological cycle is statistically associated with temperature, specifically, both the periods of hibernation (low temperatures) and reproduction (high temperatures). In general, the frequency of this species was low, with few juveniles recorded, indicating that *X. perotensis* is facing serious problems, likely due to severe anthropogenic pressures.

La estacionalidad y dinamismo del clima y hábitat inducen a que las ardillas terrestres exploten los recursos en las mejores estaciones y eviten la menos favorable a través de la hibernación. La ardilla endémica de Perote (*Xerospermophilus perotensis*) se encuentra clasificada a nivel nacional e internacional como vulnerable a la extinción, ya que su hábitat se ha reducido drásticamente por lo que su conservación se ha visto comprometida, a pesar de esto el conocimiento acerca de la especie es escaso. El objetivo de este estudio fue describir y analizar el ciclo anual de la especie, para lo cual

se obtuvieron las temperaturas y precipitaciones del área de estudio del año 2008 al 2014; el número de capturas de ardillas se estimó a través del método de captura-marcaje-recaptura. Los resultados indicaron que el ciclo fenológico está relacionado estadísticamente con la temperatura, ya que determina la hibernación; así como de las condiciones reproductivas debido a que se presentaron cuando las temperaturas fueron las más altas. En general, las frecuencias de los organismos fueron bajas y con pocos registros de juveniles, lo que indica que la especie está enfrentando serios problemas para persistir debido a las severas presiones antropogénicas a las que se enfrenta.

Key words: conservation, seasonality, hibernation, ground squirrel, temperature.

helena.bagatella@gmail.com*Corresponding author.

Climate and habitat conditions are dynamic so organisms avoid or mitigate the effects of the least favorable time of the year through migration, aestivation or hibernation, and take advantage of the season that favors their development and reproduction (Bradshaw and Holzapfel 2007; Williams et al. 2014). The timing of these and their relationship with the different stages of life are induced by biotic forces such as hormone concentrations and abiotic forces such as light, temperature and season (Michener 1983; Bradshaw and Holzapfel 2007; Williams et al. 2014).

In ground squirrels, annual cycles are marked and divided into an active and an inactive phase, the duration of which varies by species, sex, age, latitude, climate and habitat (Michener 1983; Williams and Lane 2013; Williams et al. 2014). Reproductive cycles, gestation, lactation, emergence of juveniles, fat storage and preparation for hibernation occur during the active phase and hibernation occurs during the inactive phase (Michener 1983). Some annual events are critical for ground squirrels, such as the day they emerge from hibernation. Males who emerge late have less chance of acquiring territory and a decreased possibility of developing the secondary sex characteristics required for reproduction. Late emergence by females can affect their weight because after reproducing (gestation and lactation), they must accumulate enough fat to hibernate (Williams and Lane 2013).

The reproductive season in sciurids coincides with the peak of food resource availability, so if these two events go out of phase, reproductive rates and survival could decrease and cause serious imbalances in the population and could even lead to extinction (Michener 1983; Miller-Rushing et al. 2010; Lane et al. 2012). Repeated observations of the population structure (sex ratio, age category and reproductive status) allows us to understand the relationship between the annual cycle and demography, since both are sensitive to time and can provide information about the viability and state of the populations. It is generally understood that five to ten years of observations are necessary to obtain sufficient information about these parameters (Van Horne 1983; Caughley 2000; Miller-Rushing et al. 2010).

The endemic ground squirrel of Perote (*Xerospermophilus perotensis*) is diurnal, social, terrestrial and mainly herbivorous (Best and Ceballos1995; Castillo-Castillo and González-Romero 2010). Its reproductive period begins in May and ends in August. Gestation is 30 days and females have an average of four kits. Hibernation occurs from the end of October to March, interrupted by short feeding periods (Yensen and Sherman 2003; Valdez and Ceballos 2003; Castillo 2009). These animals prefer to live in open treeless, shrubless areas with short grasses (Yensen and Sherman 2003; Hannon et al., 2006), though they have also been recorded in areas with shrubs and in crops (Best and Ceballos 1995; Mendoza-Carreón 2009).

This species is facing conservation problems resulting from the development and transformation of its habitat by humans; thus, it is classified as Threatened in the Official Mexican Standard NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) and endangered by the International Union for the Conservation of Nature (IUCN) (Álvarez-Castañeda et al. 2008).

Because the Perote ground squirrel is extremely vulnerable, we decided to describe and analyze its annual cycle (reproduction, juvenile emerge, hibernation) and learn about the relationship between climate conditions and its populations structure. The information obtained will allow us to understand the ecological patterns of this species and to provide the tools necessary to understand what is necessary for the protection and conservation of this species. Combined with legal action, this could lead to the conservation of the species.

Material and Methods

Study area

The study was done in the Perote Valley, located in the municipality of Perote, Veracruz, Mexico. This valley is located between two mountain ranges, the Sierra Norte of Puebla and the Cofre de Perote, both of which offer unique environmental conditions that have resulted in the presence of several endemic species (Best and Ceballos 1995; Sánchez-Cordero et al. 2005). This area is facing conservation problems owing to intensive agricultural practices (both crops and goat livestock), that have fragmented and decreased the available habitat in the region (Gerez-Fernández 1985; Arriaga et al. 2000). The elevation around the study sites is 2,300 to 2,700 m. a.s.l., the climate is the most humid of the semiarid climates, with a mean annual temperature of 14 ºC and a mean annual precipitation of 500 mm (Gerez-Fernández 1985; Medina and Angulo 1990). The vegetation is diverse: pine-oak forest (*Pinus* spp. and *Quercus* spp.*),* Juniper forest (*Juniperus deppeana*), scrub (*Yucca periculosa, Nolina parviflora*), natural meadows (*Scleropogon brevifolius, Erioneuron avenaceum*) and induced pastures (*Muhlenbergia quadridentata, Aristida divaricata*) along with halophytic vegetation (*Bouteloua scorpioides, Atriplex linifolia*) (Gerez-Fernández 1985; Delgadillo 2011).

For this study, the seven sites we sampled differed mainly in their plant associations and the time they have been protected from livestock management (goats and sheeps) (Fig. 1). Site 1 was on a basalt flow with shortgrass pastures with sparse tussocks. Site 2 was located 200 m from the Veracruz-Mexico City highway, with native grasses and no agricultural activity. Site 3 was located approximately 500 m from the same highway, furrowed from past agricultural activities. Site 4 was close to the Perote-Amozoc highway, with predominantly short tussocks of grass (20 cm) and occasional pasturing of goats and sheep. Site 5 was adjacent to Site 4, with irregular soil owing to management practices to prevent erosion; some shrubs interspersed among its moderately long grasses, in dense tussocks. Although this site has been reforested and is to be used for conservation, livestock is still pastured on it. Site 6 is an area where crop farming was abandoned about 14 years ago, and has a succession of native pastures, some succulents and shrubs. It is

surrounded by an electric fence and barbed wire and is under surveillance to prevent grazing by intruding domesticated animals. Site 7 has patches of short grass and bunches of other types of grass, but has not been subjected to any agricultural activities in the last four years and is also under the same type of surveillance as site 6.

Study design and data collection

To capture the squirrels, two plots (1 ha) separated by 100 m were set up in each of the seven study sites. In each plot, 36 Sherman® traps (30 x 10 x 8 cm) were set up in a grid, separated by 20 m. The traps were baited with oat flakes and peanut butter, and were active from 0830 h to 1500 h (Gurnell and Flowerdew 1994; Castillo-Castillo 2009). Each plot was trapped for three consecutive days and each month during the ground squirrels' activity cycle from June 2008 to June 2014. The animals captured were marked using magnetic chips (MUSSICC Chips-AVID®), and their sex, weight and reproductive status were noted: scrotal testes in males or mammary glands that indicate pregnancy or lactation in females (Gurnell and Flowerdew 1994; Castillo-Castillo 2009). The animals were later released in situ (Sikes et al., 2011). Animals weighing more than 170 g or exhibiting reproductive characteristics are considered adults (Gurnell and Flowerdew 1994; Dimmick and Pelton 1996; Castillo-Castillo 2009), and those weighing less or without these characteristics are considered juveniles (Castillo-Castillo 2009). Population structure was obtained for each site using sex ratio (males and females) and age (Caughley 2000). Temperature and precipitation data for the study period were provided by the National Water Commission (*Comisión Nacional del Agua*; CONAGUA).

Statistical analysis

To carry out the statistical analyses, based on the reported frequencies of the ground squirrels the year was divided into three periods: pre-reproductive (April and May), reproductive (June to July) and post-reproductive (September, October). Temperature and precipitation data were analyzed using one-way ANOVAs, with post hoc Newman-Keuls tests. Sex characteristics were analyzed using a X^2 test. All analyses were run in Statistica 10.0.

Results

The number of captured animals, monthly precipitation and temperature for 2008-2014 are shown in Figure 2. Total sampling effort was 12,528 trap days. The highest abundance values, in general, coincide with the peaks in temperature and precipitation, decreasing when these variables decreased as well. An atypical year was the 2008, it was very rainy and hot, with more than 350 mm of rain and temperatures above 30 ºC. 2009 and 2010 were also very rainy. The highest peaks in rainfall are reported from August onward and decreased in October with little rain in the following months. The mean temperature throughout the study was 22.2 ºC. In March-April the highest temperatures were recorded, temperatures began to decrease in August and from November to January temperatures reached their lowest values, as low as 13 ºC for this period in 2014, which was the coldest year of the study. There were statistically significant differences in temperature during the three periods of the ground squirrel's reproductive cycle (F = 10.70, $d.f.$ = 21, p = 0.0006). The post hoc test detected differences between the temperatures of the post-reproductive period and those of the pre-reproductive period (p = 0.0004) and between the temperatures of the pre-reproductive period (p = 0.03). Precipitation did differ significantly among the different phases of the reproductive period (F = 3.3, $d.f.$ = 21, p = 0.05).

In 2009 the highest number of males and females was caught. In 2009 and 2012 males were caught more frequently (Table 1). Adults were more abundant than juveniles were, and there were statistically significant differences in the number of adults and juveniles (F = 5.70, $d.f.$ = 1, p = 0.03). Adult males were recorded with greater frequency in the pre-reproductive and reproductive period (Fig. 3). Juveniles were recorded throughout sampling, though their frequency was low. Their abundance was greater and their emergence began in the pre-reproductive period. In 2008 and 2012 the number of juveniles recorded was highest.

Regarding reproductive characteristics, scrotal males were most abundant and females with signs of pregnancy or lactating were recorded least often. Scrotal males were abundant starting in April, reached their maximum in June and decreased in July when males with abdominal testes became more abundant (Fig. 4). Non-pregnant females were

recorded in all samples, with those showing signs of pregnancy or lactation appearing in June and through August, with similar values in July (12) and August (15).

The results of the X^2 indicated statistically significant differences in the number of adult males exhibiting secondary sex characteristics and those that did not during the three stages of the reproductive period (X^2 = 56.28, *d.f.* = 2, $p < 0.0001$) and in the number of females in different states (pregnant, not pregnant, lactating) over the same period (X^2 = 28.09, *d.f.* = 4, $p < 0.0001$). There were differences in the number of females that were not pregnant during the reproductive period ($F = 39.5$, *d.f.* = 2, $p < 0.0001$), and the post hoc tests indicated differences in the pre- and post-reproductive period and with the reproductive and pre-reproductive period ($p < 0.00001$ in both cases). There were differences in the number of pregnant females among study sites ($t = 8.64$, $p = 0.0002$), and differences in the number of lactating females between the reproductive and post-reproductive periods ($t = 1.8$, *d.f.* = 21, $p = 0.03$). The number of scrotal males did not differ among periods (pre-, reproductive, post-; $F = 0.40$, *d.f.* = 2 $p = 0.66$, *or* did the number of males with abdominal testicles *(*$F = 0.37$, *d.f.* = 2 $p = 0.6$).

The weight of the squirrels varied throughout the year. Adult males were heaviest during the pre-reproductive and reproductive periods and lightest during the post-reproductive period (Fig. 5). Adult females were heaviest during the post-reproductive period and lightest in April. Juveniles weighed less during July, when they emerged, and their weight increased over the subsequent months.

There were no significant differences in weight between adult males and adult females ($F = 0.42$ *d.f.* = 1 $p = 0.5$), and no differences in weight between male and female juveniles ($F = 0.12$, *d.f.* = 1, $p = 0.7$), though there were differences between adult and juvenile males ($F = 11.79$, *d.f.* = 1, $p = 0.005$) and between adult and juvenile females ($F = 21.4$, *d.f.* = 1, $p = 0.0005$).

Discussion

Our results reveal that the Perote ground squirrel exhibits phenological patterns similar to those described by Schwanz (2006) and by Williams and Lane (2013) for species belonging to the genus *Spermophilus*, since the species responds to changes in temperature and its activity cycle begins in the spring and ends in autumn. The highest environmental temperatures were recorded during the pre-reproductive period and marked the end of hibernation and preparation for reproduction. When the temperature dropped, hibernation began; behavior similar to that reported for the Mexican ground squirrel (Schwanz 2006). Given that there is a statistically significant relationship between the squirrels' cycle and temperature, we infer that temperature is the most important phenological signal for the Perote ground squirrel, as observed by Lane et al. (2012). While precipitation was not significantly related to the cycle of the Perote ground squirrel, it may exert some influence given that tropical storms and hurricanes originating in the Gulf of Mexico are a regular occurrence in the region (García 2003) and at times could prevent the animals from leaving their burrows. This could result in a low capture rate, as occurred in Mendoza-Carreón's (2009) study of this species.

The high number of records for males could be the result of their greater susceptibility to being captured because of their exploratory behavior, while the females may have been in their burrows engaged in maternal activities and thus less likely to be caught, as reported in studies of other terrestrial squirrels (Holekamp 1984; Yensen and Sherman 2006; Mendoza-Carreón, 2009). The large number of squirrels captured at the beginning of the year indicates that they were the first to emerge from hibernation. Michener (1983) reported the same pattern and indicates that this behavior has the objective of obtaining the best territory and resources until the females emerge and reproduction occurs. The low number of captures at the end of the year reveals that the males were the first to enter hibernation, and this coincides with the findings of Holekamp and Sherman (1989), Michener (1983) and Castillo-Castillo (2009).

The results for secondary sex characteristics indicate they are related to temperature since their frequency was higher in April and June when temperatures were hottest and precipitation was not as intense as in other months. The records of these

characteristics were lowest in August when the temperature has begun to drop and rainfall is regular and heavy. Similar patterns have been reported in other studies (Best and Ceballos 1995; Valdez and Ceballos 1997; Castillo-Castillo 2009). In our study, scrotal males were the most abundant, a result that concurs with those of Castillo-Castillo (2009), and Montero-Bagatella and González-Romero (2014); this may result from their greater susceptibility to being captured. Males generally use larger areas in their search for females to copulate with, as mentioned by Castillo-Castillo and González-Romero (2010). In contrast, females with signs of being pregnant were recorded least frequently, as occurred in the study by Montero-Bagatella and González-Romero (2014). This may have been the result of the females staying in their burrows to tend to their young, allowing them to escape capture (Mendoza-Carreón 2009) or, as reported for other species of squirrel (Descamps et al. 2008; Kneip et al. 2011), because reproduction was not achieved.

For age category, the number of adults and juveniles differed statistically, with adults more abundant throughout the study. Juveniles were more abundant during the post-reproductive period, likely because they were emerging from their burrows and beginning to explore the land as reported by Mendoza-Carreón (2009). Their emergence coincided with the peak in rainfall in August, and is reflected in the growth of food resources that could benefit their development (Williams and Lane 2013). At the beginning of the year, juveniles were also recorded more frequently, as also reported by Castillo-Castillo (2009) and Mendoza-Carreón (2009) who mention that these values are the result of squirrels that were born the previous year emerging from their burrows. In general, the number of records of juveniles was low, indicating that the populations are aging, that they are not being replenished, and are not growing, meaning that the possibilities for the recovery of this species are limited (Caughley and Sinclair 1994, Miller-Rushing et al. 2010). Kneip et al. (2011) mentioned that it is possible to underestimate juveniles because they disperse as they grow, so these numbers should be interpreted with some caution.
Hoogland (2003) and Schwanz (2006) demonstrated that in ground squirrels hibernation and reproduction require a notable energetic expenditure and this is reflected in the loss of body weight. This could be what happened to *X. perotensis* over the course of the study since, on emerging from hibernation, the animals encounter a change in food, refuge and

habitat availability (Humphrey 1962). Reproduction requires a large energetic investment, more so in the females since they gestate and care for their young (Hoogland 2003; Yensen and Sherman 2003). Disturbances to the environment that occur in some of the study sites were agricultural fires that get out of control and plowing, which can cause variations in the weight of the squirrels by limiting resource availability and increasing resource competition (Humphrey 1962).

The abundance of the Perote ground squirrel varied with temperature and precipitation. Increases in population may have been a response to heavy annual rains as documented in other studies of rodents (Kneip et al. 2011; Williams and Lane 2013; Heisler et al.; 2014), since heavy rains can increase the yield of the grasses and asters that this species feeds on. If these conditions persist, they could result in an increase in population (Heisler et al. 2014). If however, conditions do not favor the ground squirrels, litter size may decrease, as observed in red squirrels (Descamps et al. 2008). The resources present in the habitat can therefore explain the frequencies of this squirrel, and limit or favor the population growth of the species.

The highest abundance values were recorded in April when the ground squirrels had come out of hibernation and were in their reproductive phase. In October, there were few captures, possibly because of low temperatures, resource scarcity and because it was the beginning of the hibernation period. Other studies on this species have reported similar results (Valdez and Ceballos, 1997; Castillo-Castillo 2009; Montero-Bagatella and González-Romero 2014). The abundance of the endemic Perote ground squirrel was greater in open sites and those with short grass such as sites 1, 2 and 3 (sampling years 2008 and 2009) because the species prefers this type of site, where it is easier for them to detect potential predators, move shorter distances to find refuge and find better resources such as territory and food (Heisler et al. 2014). Grass shoots are more nutritious and palatable and are optimal for the growth of these animals (Hannon et al., 2006; Yensen and Sherman 2006; Pasch and Koprowski 2011). These areas contrast with sites 6 and 7 (sampling years 2013 and 2014) where the pasture was dense and abundant, rendering them perhaps not as habitable as the other areas and resulting in a lower population estimate. In spite of the electric fence and surveillance at site 7, in June 2013, seven squirrels were lost; the traps had been moved from their locations and there were

traces of blood and fur, suggesting the squirrels had been predated by dogs. This caused the decrease in abundance recorded in the subsequent months. For this species, the study of Castillo-Castillo (2009) reports maximum densities close to 50 ind/ha, but for 2014 maximum density was 20 ind/ha (Montero-Bagatella and González-Romero, 2014). Based on the proposal of Yensen and Sherman (2003) that the minimum viable density for ground squirrels is 20 ind/ha, we infer that the populations of *X. perotensis* have been decreasing and are small. The density indices overestimate values, in contrast to captures, which gives a real estimate of the population and is considered a more appropriate value for the purpose of conservation, especially for endangered species (Caughley and Sinclair 1994).

Even though the number of captures and the reported densities have different values, the tendencies of both parameters indicate steady population decreases in recent years; decreases caused by environmental disturbance, anthropogenic pressure and changes in resource availability (Hoffmann et al. 2003). Studies such as those of Mendoza-Carreón (2009) and Sánchez-Cordero et al. (2005) mention that the Perote ground squirrel has shown a certain degree of plasticity in the face of unfavorable conditions, though recent population studies indicate that it is now reaching its limit (Castillo-Castillo and González-Romero 2010; Montero-Bagatella and González-Romero 2014).

Ground squirrel density and precipitation could be considered demographic predictors for the purpose of conservation (Kneip et al. 2011), and precipitation could even be a predictor of survival rate (Bronson 1979). As such, these variables could be used for the proper management of this species, since the results show that its abundance values are low. This, in addition to its limited distribution, low dispersal capacity and the constant transformation and reduction of its habitat, confirms that *X. perotensis* is facing serious problems for survival, as highlighted in other studies of this species (Valdez and Ceballos 1997; Álvarez-Castañeda et al. 2008; Castillo-Castillo 2009; Mendoza-Carreón 2009; Sánchez-Cordero et al. 2005; Ochoa et al. 2012; Montero-Bagatella and González-Romero 2014). Greater knowledge of this species, its population parameters and its ecology, will provide us with the tools required to better understand its protection and conservation needs. This, together with legal action, could save the species.

Acknowledgments

S.H.M-B. is grateful to the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología for the award of a graduate studies scholarship (233712). The authors thank the Dirección General de Vida Silvestre for authorizing the permits required (SGPA/DGVS/05833/08 y SGPA/DGVS/03369/15), and Granjas Carroll de México, S de R.L, de C.V., especially Tito Tablada, Héctor Flores and Noemí Rosas. We are grateful to A. Sandoval for preparing the map. Bianca Delfosse translated the manuscript from the original in Spanish. The first author is grateful to A. González-Romero for providing funds, logistical and field support, and to all those who helped collect data in the field.

Literature Cited

Álvarez-Castañeda, S. T., Castro-Arellano, I., Lacher, T. and E. Vázquez. 2008. *Spermophilus perotensis*. In: IUCN 2016. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2016. 3.1. http://www.iucnredlist.org. Accessed 27 September 2016.

Arriaga, L., Espinoza, J., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. and E. Loa (eds.) 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México, D.F.

Best, T. L. and G. Ceballos. 1995. *Spermophilus perotensis*. Mammalian Species 507:1-3.

Bradshaw, W. and C. Holzapfel. 2007. Evolution of animal photoperiodism. Annual Review of Ecology Evolution and Systemactics 38:1-25.

Bronson, M. T. 1970. Altitudinal variation in the life-history of the golden-mantled ground squirrel (*Spermophilus lateralis*). Ecology 60:272-279.

Castillo-Castillo, C. C. 2009. Densidad, estructura poblacional y hábitat de la ardilla endémica de Perote (*Spermophilus perotensis* Merriam, 1893). M.Sc. thesis. Instituto de Ecología, A. C. México.

Castillo-Castillo, C. C. and A. González-Romero. 2010. Áreas de actividad de la ardilla endémica de Perote *Xerospermophilus perotensis*. Therya 1:69-74.

Caughley, G. 2000. Analysis of vertebrate populations. The Blackburn Press. New Jersey. USA.

Caughley, G. and A. Sinclair. 1994. Wildlife Ecology and Management. Blackwell Science. New Jersey. USA.

Delgadillo, G. 2011. Distribución, selección de hábitat y densidad de la liebre torda (*Lepus callotis*, Wrangler, 1830) en el Valle de Perote. M.Sc. thesis. Instituto de Ecología, A. C. México.

Descamps, S., Boutin, S., Berteuaux, D., McAdam, A. G. and J. M Gaillard. 2008. Cohort effects in red squirrels: the influence of density, food abundance and temperature on future survival and reproductive success. Journal of Animal Ecology 77: 305-314.

Dimmick, R. W. and M. R. Pelton. 1996. Criteria of sex and age. pp. 169-214 in Research and management techniques for wildlife and habitats (Bookhout, T. A., ed.). The Wildlife Society. Bethesda, Maryland, USA.

Gerez-Fernández, P. 1985. Uso del suelo durante cuatrocientos años y cambio fisionómico en la zona semiárida Poblano-Veracruzana, México. Biótica 10: 123-144.

García, E. 2003. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. 50:67-76.

Gurnell, J. and J. R. Flowerdew. 2006. Live trapping small mammals: a practical guide. Fourth edition. The Mammal Society. London, England.

Hannon, M., Jenkins, S., Crabtree, R. and A. Swanson. 2006. Visibility and vigilance: behavior and population ecology of Uinta ground squirrels (*Spermophilus armatus*) in different habitats. Journal of Mammalogy 87:287-295.

Heisler, L., Somers, C. and R. Poulin. 2014. Rodent populations on the northern Great Plains respond to weather variation at a landscape scale. Journal of Mammalogy 95:82-90.

Hoffmann, I., Milessi, E., Huber, S., Lammina, E. and J. Dittami. 2003. Population dynamics of European ground squirrels (*Spermophilus citellus*) in a suburban area. Journal of Mammalogy 84:615-626.

Holekamp, K. 1984. Dispersal in ground-dwelling sciurids. Pp. 297-320 in The biology of ground-dwelling squirrels (Murie, J., and Michener, G., eds.). University of Nebraska Press. USA.

Holekamp, K. E. and P. W. Sherman. 1989. Why male ground squirrels disperse. American Scientist 77:232-239.

Hoogland, J. 2003. Sexual dimorphism of prairie dogs. Journal of Mammalogy 84:1254-1266.

Humphrey, R. R. 1962. Range ecology. The Ronald Press Company. New York, USA.

Kneip E., Van Vuren, D.H., Hostetler, J. A. and K. O. Madan. 2011. Influence of population density and climate and the demography of subalpine golden-mantled ground squirrel. Journal of Mammalogy 92:367-377.

Lane, J. E. 2012. Delayed phenology and reduced fitness associated with climate change in a wild hibernator. Nature. 489 (7417):554-557.

Miller-Rushing, A., Hoye, T., Inouye, D. and E. Post. 2010. The effects of phenological mismatches on demography. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences 365:3177-3186.

Montero-Bagatella S. H. and A. González-Romero. 2014. Análisis demográfico de una especie en estado crítico: la ardilla de Perote. Therya. 5:737-750.

Michener, G. R. 1983. Spring emergence schedules and vernal behavior of Richardson's ground squirrels: why do males emerge from hibernation before females? Behavioral Ecology and Sociobiology 14:29-38.

Medina, M. and M. Angulo. 1990. Atlas climático del Municipio de Perote (Estado de Veracruz). Instituto de Ecología, A. C. México.

Mendoza-Carreón, G. 2009. Distribución y relaciones filogenéticas del moto (*Spermophilus perotensis*). MSc thesis, Instituto de Ecología, A. C.

Ochoa A., Gasca, J., Ceballos, G. and L. Eguiarte. 2012. Spatiotemporal population genetics of the endangered Perote ground squirrel (*Xerospermophilus perotensis*) in a fragmented landscape. Behavioral Ecology and Sociobiology 93:1061-1074.

Pasch, B. and J. L Koprowski. 2011. Impacts of fire suppression on space use by Mexican fox squirrels. Journal of Mammalogy 92:227-234.

Ramos-Lara N. and J. L. Koprowski. 2014. Deforestation and knowledge gaps threaten conservation of less charismatic species: status of the arboreal squirrels of Mexico. Mammalia. 78:417-427.

Sánchez-Cordero, V., Illoldi-Rangel, P., Linaje, M., Sarkar, S., and A.

Schwanz, L. E. 2006. Annual cycle of activity, reproduction and body mass in Mexican ground squirrels (*Spermophilus mexicanus*). Journal of Mammalogy 87:1086-1095.

Secretaría Del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestre. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Nación (Segunda sección). México, D.F.

Sikes, R. S., Gannon W. L. The Animal Care and Use Committee of The American Society of Mammalogists. 2011. Guidelines of The American Society of Mammalogists for the use of Wild Mammals in Research. Journal of Mammalogy 92:235-253.

Valdez, M. and G. Ceballos. 1997. Conservation of endemic mammals of Mexico: the Perote ground squirrel (*Spermophilus perotensis*). Journal of Mammalogy 78:74-82.

Valdez, M. and G. Ceballos. 2003. Patrones de hibernación de ardillas de tierra (*Spermophilus mexicanus* y *S. perotensis*) en el centro de México. Revista Mexicana de Mastozoología. 7:40-48.

Van Horne, B. 1983. Density as a misleading indicator of habitat quality. The Journal of Wildlife Management 47:893-901.

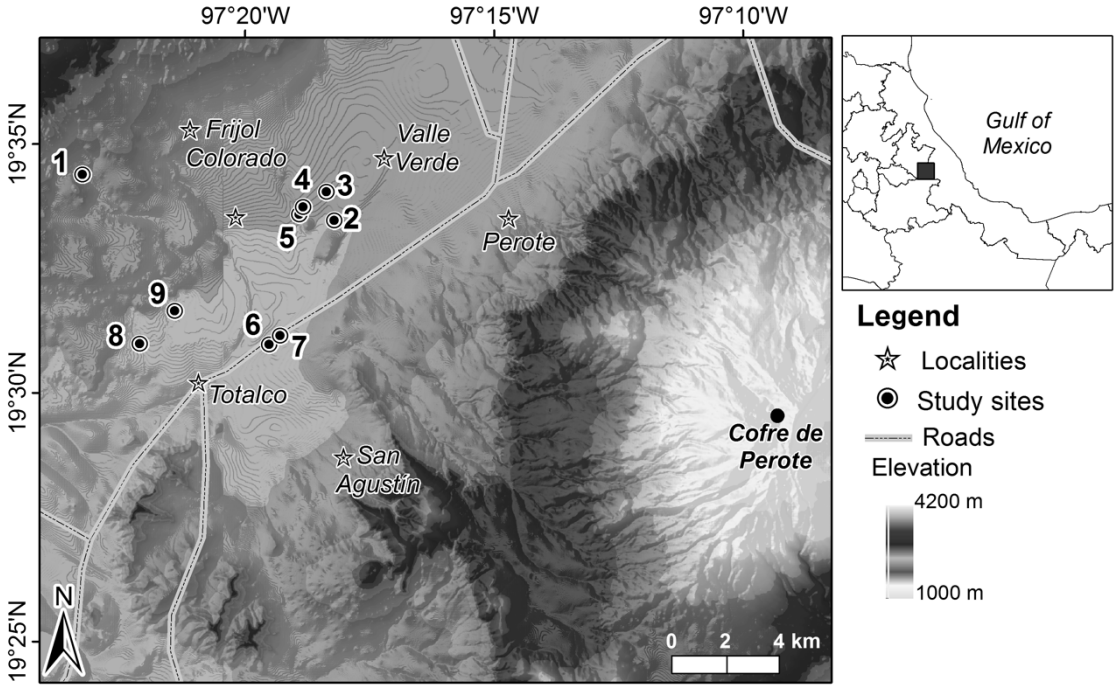
Williams C. T., Barnes B.M., Kenagy G. J and C. L. Buck. 2014. Phenology of hibernations and reproduction in ground squirrels: integrations of environmental cues with endogenous programming. Journal of Zoology. 292: 112-124.

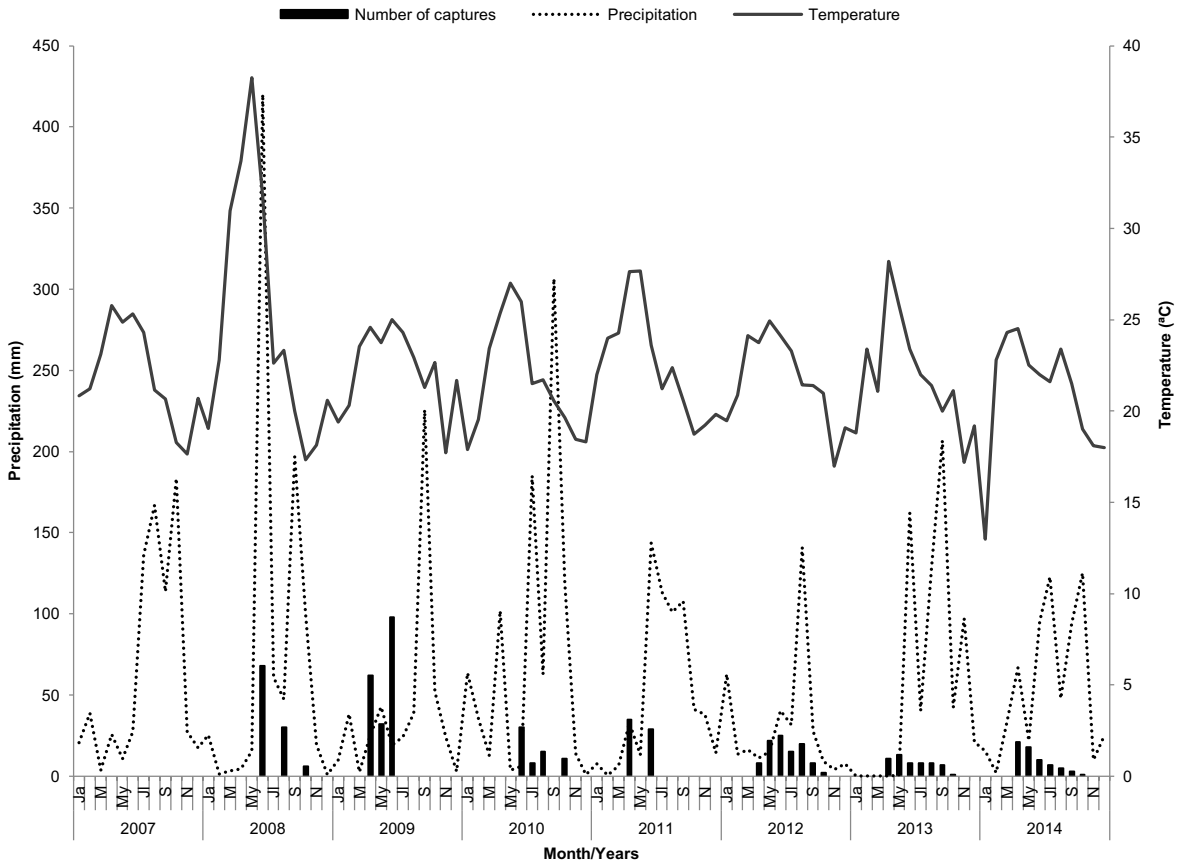
Williams, C. T. and J. E Lane. 2014. Reproductive phenology of a food-hoarding mast-seed consumer: resource and density-dependent benefits of early breeding in red squirrels. Oecologia. 174:777-788.

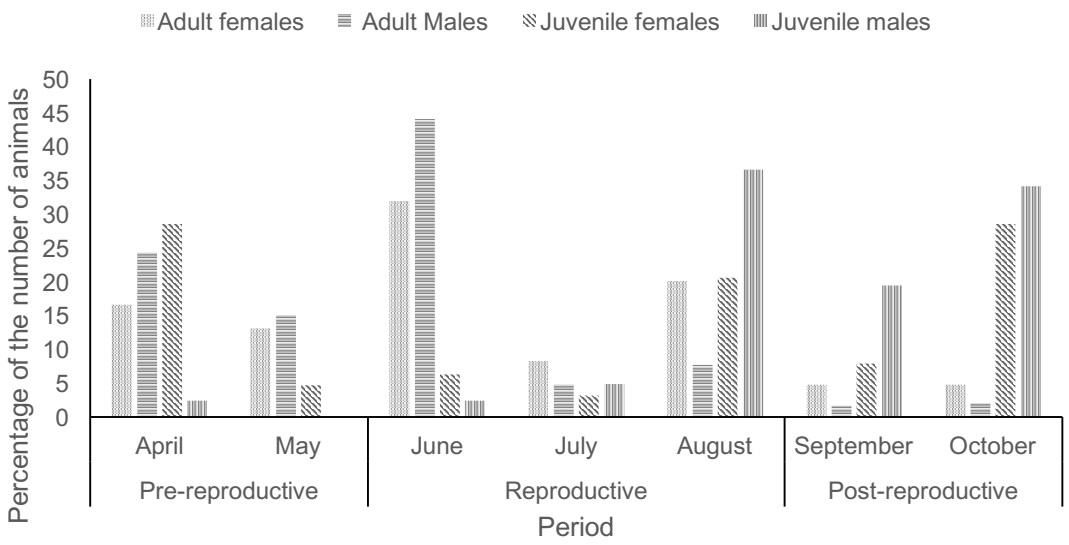
Yensen, E. and P. W Sherman. 2003. Ground squirrels: *Spermophilus* and *Amnospermophilus* species. Pp. 211-231in Wild Mammals of North America: Biology, Management and Conservation (Feldhamer G. A., Thomson, B. C and. J. A Chapman, eds.). Second Edition. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, Maryland, USA.

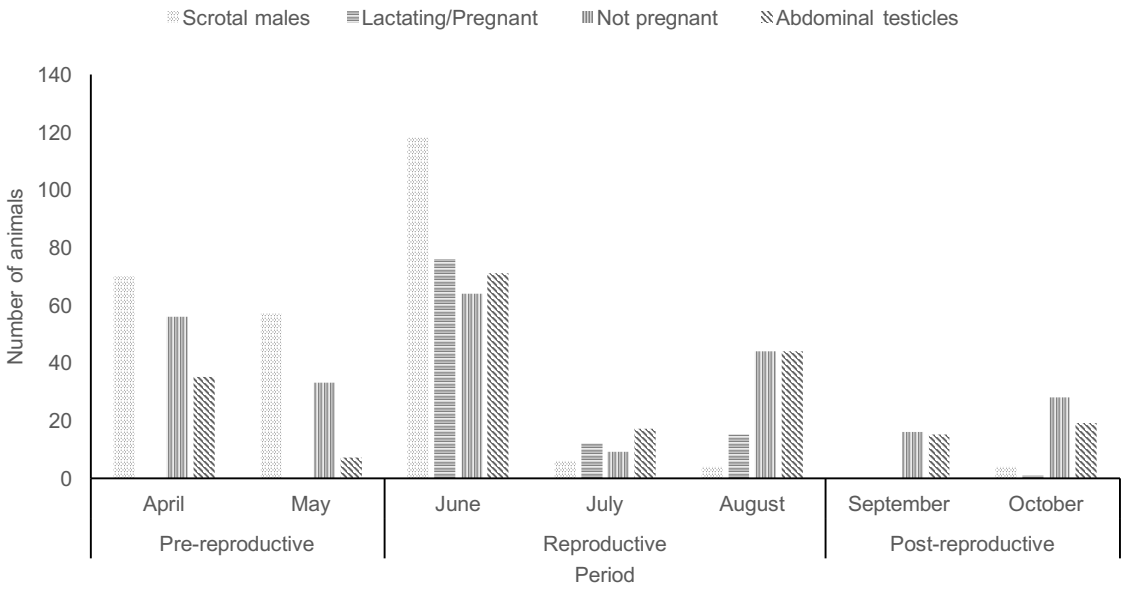
Table 1. Total number of *Xerospermophilus perotensis* caught, by sex, age and sampling year.

Year	**Female**		**Male**	
	Adult	**Juvenile**	**Adult**	**Juvenile**
2008	39	17	64	18
2009	55	3	134	0
2010	32	8	31	5
2011	16	8	39	0
2012	30	21	71	15
2013	33	3	44	0
2014	23	3	43	3


97°20'W
97°15'W
97°10'W
19°35'N
19°30'N
19°25'N
Frijol Colorado
Valle Verde
Perote
Totalco
San Agustín
Cofre de Perote
1
2
3
4
5
6
7
8
9
N
0 2 4 km
Gulf of Mexico
Legend
Localities
Study sites
Roads
Elevation
4200 m
1000 m


Number of captures
Precipitation
Temperature
Precipitation (mm)
Temperature (ºC)
Month/Years
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014


Adult females
Adult Males
Juvenile females
Juvenile males
Percentage of the number of animals
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
April
May
June
July
August
September
October
Pre-reproductive
Reproductive
Post-reproductive
Period


Scrotal males
Lactating/Pregnant
Not pregnant
Abdominal testicles
Number of animals
140
120
100
80
60
40
20
0
April
May
June
July
August
September
October
Pre-reproductive
Reproductive
Post-reproductive
Period

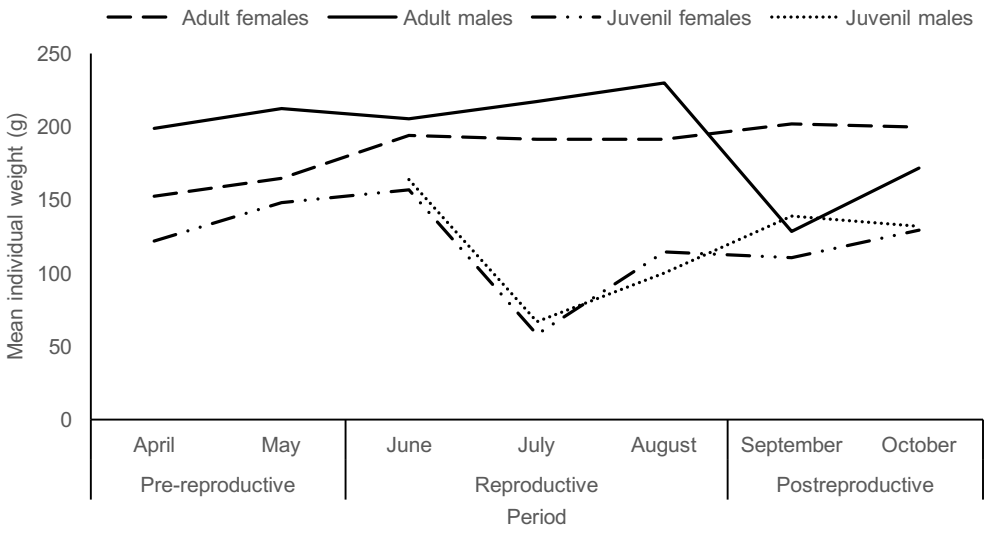

Adult females
Adult males
Juvenil females
Juvenil males
Mean individual weight (g)
250
200
150
100
50
0
April
May
June
July
August
September
October
Pre-reproductive
Reproductive
Postreproductive
Period

Figure legends

Figure 1. Study area with the sites where sampling was conducted. The main localities and roads are also shown.

Figure 2. Mean monthly temperature and precipitation for Perote, Veracruz, 2008 - 2014. The number of captures of the Perote ground squirrel (*Xerospermophilus perotensis*) known to be alive from sampling is also shown.

Figure 3: Sex and age ratios of the Perote ground squirrel (*Xerospermophilus perotensis*) recorded during its active cycle.

Figure 4: Secondary sex characteristics of the Perote ground squirrel (*Xerospermophilus perotensis*) recorded during its active cycle.

Figure 5: Mean weight of the Perote ground squirrel (*Xerospermophilus perotensis*) by sex and age during its active cycle.

CAPÍTULO III

RELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN Y LAS DENSIDADES DE LA ARDILLA DE PEROTE.

Aceptado en la Revista Mexicana de Biodiversidad.

Relationship between vegetation characteristics and densities of the Perote ground squirrel.

La vegetación y su relación con la densidad de la ardilla endémica de Perote

Sandra H. Montero-Bagatella[*a], Alberto González-Romero[a], Sonia Gallina-Tessaro[a] y Gerardo Sánchez-Rojas[b].

[a]Red de Biología y Conservación de Vertebrados, Instituto de Ecología A. C. Carretera Antigua a Coatepec 351, El Haya, Xalapa, Veracruz, 91070. México. helena.bagatella@gmail.com*, alberto.gonzalez@inecol.mx, sonia.gallina@inecol.mx

[b]Laboratorio de Biología de la Conservación. Área Académica de Biología, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad del Conocimiento S/N, Km 4.5 de la Carretera Pachuca-Tulancingo. Col. Taxistas 42184. Mineral de la Reforma, Hidalgo. gerardo.sanchezrojas@gmail.com

Resumen

La ardilla endémica de Perote (*Xerospermophilus perotensis)* es una especie endémica y en peligro de extinción según a la IUCN y amenazada de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM 059- SEMARNAT-2010; el cambio de uso de suelo ha sido la principal causa de la pérdida de su hábitat y ha ocasionado que la especie enfrente problemas de conservación. Algunos estudios señalan, que los roedores de pastizales pueden resistir algunas perturbaciones de su hábitat e incluso pueden obtener beneficios de estos cambios, por lo que nos planteamos evaluar la relación que existe entre la estructura de la vegetación y la densidad poblacional de la ardilla en siete sitios del Valle de Perote en Veracruz. Los resultados sugieren que la densidad de la ardilla está determinada por la altura y cobertura de la vegetación, las cuales proveen de protección de los depredadores, pero a su vez también debe permitirles de visibilidad a las mismas y de los recursos alimenticios necesarios para su subsistencia. En algunos de los sitios trabajados las densidades de la ardilla de Perote fueron apenas superiores a la mínima viable, por lo que es de importancia tomar las medidas necesarias para el manejo

adecuado de su hábitat, ya que su condición de microendemismo le impide establecerse en otros ambientes.
Palabras clave: ardillas terrestres, endemismo, especie amenazada, cobertura vegetal, pastizales.

Abstract

The Perote ground squirrel (*Xerospermophilus perotensis*) is nationally and internationally classified as vulnerable to extinction. The loss of their habitat caused by the change in land use has been the main cause of their conservation problems. Some studies suggested that rodents in grasslands can resist with some habitat disturbance and may even benefit from these changes. We evaluated the relationship between the structure of the vegetation and the density of the squirrel. Our results suggest that the presence of the squirrel is determined by the height and coverage of the vegetation, as they provide them protection from predators, but it should allow visibility to them and the necessary food resources for their subsistence. In some of the study sites, the Perote ground squirrel densities was barely the minimum viable, therefore it is important to take the necessary measures for the proper management of their habitat because their condition as a microendemic species avoids them to establishment in other habitat type.
Keywords: ground squirrel, endemic, threatened species, vegetation coverage, grasslands.

Introducción

El Valle de Perote se localiza en los Estados de Veracruz y Puebla, forma parte de la Faja Volcánica Transversal, la cual destaca por ser un centro de diversificación, endemismo y transición biológica para una gran variedad de especies, (Gámez et al., 2012; Luna et al., 2007) por lo que resulta un sitio de particular importancia del país (Rzedowski, 2006). Sin embargo las prácticas agrícolas, la ganadería, la deforestación, el desarrollo de caminos y la fauna introducida han originado severas transformaciones del Valle, sobre todo en los pastizales que han sido convertidos con fines agrícolas y/o ganaderos (Céspedes-Flores y Moreno-Sánchez, 2010; Challenger y Soberón, 2008), lo cual ha provocado impactos negativos para las especies y su hábitat (Aguilar et. al., 2000; González-Gallina et al., 2013; Mendoza-Carreón, 2009; Valdez Ceballos, 1997).

Los mamíferos, en particular los pequeños han sido afectados por estas transformaciones y sin embargo muchos de ellos carecen de protección legal (González-Ruíz et al., 2005), ya sea por ser considerados poco carismáticos (Ramos-Lara y Koprowski, 2013) o por la escasa información acerca de su historia natural, ecología, distribución y abundancias, incluso indocumentada antes de enfrentar problemas de conservación (González-Ruíz et al., 2005; Mares, 1985). La ardilla endémica de Perote (*Xerospermophilus perotensis,* Merriam, 1893) tiene un período de actividad que abarca de finales de marzo a finales de octubre, los meses restantes hiberna, presenta baja capacidad de dispersión y distribución restringida. Actualmente es una de las especies de la zona que enfrenta severos problemas para persistir debido a las fuertes y constantes presiones antropogénicas, no sólo por la desaparición de su hábitat, del cual se ha calculado que sólo resta un 30% de su hábitat original, consecuencia de la conversión de éste a terrenos agrícolas (Mendoza-Carreón, 2009; Sánchez-Cordero et al., 2005), sino porque también algunos ejidatarios la consideran plaga en sus cultivos, lo que en conjunto ha causado un fuerte problema de conservación, que ha ocasionado que la especie se encuentre catalogada como en peligro de extinción en la IUCN y como amenazada en la NOM- 059- SEMARNAT- 2010 (Álvarez-Castañeda et al., 2008; Castillo-Castillo, 2009; Montero-Bagatella y González-Romero, 2014; SEMARNAT, 2010; Valdez y Ceballos, 1997). La importancia ecológica

de la especie radica en que las ardillas terrestres son consideradas especies clave ya que influyen en las características físicas y biológicas del ecosistema que habitan, promoviendo la infiltración de agua, la dispersión de semillas y esporas; son grandes consumidores de semillas y plántulas y representan una importante fuente de proteína para otros vertebrados (Valdez, 2003; Yensen y Sherman, 2003). Sin embargo, en ocasiones pueden llegar a considerarse como plagas, cuando sus poblaciones se elevan y causan daños a los cultivos (Hoogland 2007).

Algunos estudios han señalado que los roedores de pastizales pueden resistir a cierto tipo de perturbaciones en su hábitat e incluso pueden obtener beneficios de estos cambios, ya sea por el establecimiento y desarrollo de nuevas plantas o por el impedimento del crecimiento de leñosas. No obstante, si estas perturbaciones se agravan, la abundancia, biomasa, riqueza y composición de las comunidades de roedores pueden cambiar radicalmente e incluso algunas especies podrían desaparecer especies (Matlack et al., 2008). Debido a la estrecha relación de estos organismos con las plantas, es necesario el conocimiento acerca de la estructura de la vegetación, ya que ésta influye en la distribución y abundancia de sus poblaciones (Rizo-Aguilar et al., 2014). Además, permite conocer el estado de conservación de los ecosistemas en los que habitan (Ramos-Lara y Koprowski, 2013) por lo que con dicha información se pueden establecer acciones en favor de la conservación de la especie de interés (Rabinowitz, 1997). Por lo anterior, nos planteamos realizar una caracterización del hábitat de la ardilla de Perote y conocer que variables de la vegetación que tienen más relación con la densidad poblacional de la especie. La información obtenida permitirá conocer los requerimientos ecológicos de la especie y brindará las herramientas necesarias para planear estrategias para su conservación.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Valle de Perote, ubicado en el municipio de Perote, Veracruz, México, situado entre dos cadenas montañosas, la Sierra Norte de Puebla y el Cofre de Perote (Best y Ceballos, 1995; Gámez et al., 2012; Sánchez-Cordero et al., 2005). La altitud de la zona oscila entre 2300 y 2700 m.s.n.m.; el clima es el más húmedo de los semiáridos con una temperatura media anual de 14ºC y precipitación anual de 500 mm (Gerez-Fernández, 1985; Medina y Angulo, 1990). La vegetación que se presenta es diversa: bosque de pino-encino (*Pinus spp.* y *Quercus spp.),* bosque de táscate (*Juniperus deppeana*), matorrales (*Yucca periculosa, Nolina parviflora*), pastizales naturales (*Scleropogon brevifolius, Erioneuron avenaceum*) e inducidos (*Muhlenbergia quadridentata, Aristida divaricata*) y vegetación halófila (*Bouteloua scorpioides, Atriplex linifolia*) (Delgadillo-Quezada, 2011; Gerez-Fernández, 1985).

El estudio se realizó en siete sitios del Valle de Perote, los cuales tenían registros de la ardilla de Perote y se diferenciaron principalmente por el tiempo de uso agropecuario (Fig. 1). El Pastizal Natural Gravoso (PNG) se localizó dentro de un derrame basáltico denominado “Malpaís” perteneciente al ejido de Totalco y el cual se conoce como Paistepec; fue el sitio con menor evidencia de manejo agrícola-pecuario. Dentro del sitio existía un continuo de pastos cortos, amacollados que no denotaban perturbación. El sitio Pastizal Pastoreado Reciente (PPR) se ubicó a 200 m de la carretera Veracruz-México; el manejo agrícola ocurrió hace 5 años, por lo que ya existían pastos nativos y secundarios. Parte de este sitio fue reforestado con pinos los cuales imposibilitaban cultivos futuros, sin embargo el paso del ganado ovicaprino era cotidiano, por lo que parte de lo reforestado fue ingerido por el ganado. El Pastizal Pastoreado Antiguo (PPA) se situó aproximadamente a 500 m de la misma carretera y presentó rastros de actividades agrícolas de 12 años atrás, sin embargo el arado se retomó de manera discontinua; los pastos nativos fueron comunes en este sitio y la presencia del ganado también era cotidiana. El sitio Pastizal Natural Arenoso (PNA) fue cercano a la carretera Perote-Amozoc por 200 m; predominando los pastos cortos (20 cm) y amacollados, por lo que el ambiente ya denotaba cierta recuperación. El pastoreo ovicaprino fue ocasional y no mostraba signos de manejos agrícolas recientes. El Pastizal

de Terreno para la Conservación (PTC) fue colindante con el área PNA; es una zona de cultivo abandonada hace 20 años y reforestada en parte con pinos, actualmente está destinada para la conservación, sin embargo el pastoreo se presentó ocasionalmente. El suelo de este sitio era irregular debido al manejo edáfico que se le daba contra la erosión; los pastos eran medianamente largos, amacollados y densos, también existían algunos arbustos. Los sitios Pastizal Cercado Antiguo (PCA) y Pastizal Cercado Reciente (PCR) son propiedad de la empresa Granjas Carroll de México y están destinados para la conservación ambiental, presentan cercado eléctrico, alambrado de púas y vigilancia con el fin de evitar el pastoreo e intrusión de fauna doméstica. El PCA es una zona en la que desde hace 15 años no se presentan actividades agropecuarias; el cercado lo presenta desde hace más de 10 años lo que ha permitido la presencia de una sucesión de pastizal nativo, algunas suculentas y arbustos. El PCR no presenta prácticas agropecuarias desde hace cinco años y el cercado existe desde hace tres años. Presentó manchones de pastos cortos y abiertos y otros de pastos densos.

Para la captura de las ardillas, se utilizó la técnica de marcaje captura-recaptura, por lo que en cada sitio se establecieron 2 cuadros (1 ha) separados por 100 m. En cada cuadro se colocaron 36 trampas Sherman® (30x10x8cm) separadas cada 20 m y formando una retícula. Las trampas fueron cebadas con una mezcla de hojuelas de avena y crema de cacahuate; estuvieron activas de 08:30 a 15:00 h (Castillo-Castillo, 2009; Gurnell y Flowerdew, 1994) cubriendo el período de actividad de las ardillas (Valdez y Ceballos, 1997). Cada cuadro se trampeó mensualmente por tres días consecutivos durante marzo a octubre; los muestreos iniciaron en junio del 2008 y finalizaron en junio del 2014. Los individuos capturados fueron identificados por medio de microchips magnéticos AVID, los cuales se insertaron en la base del cuello; posteriormente los animales fueron sexados y pesados, se registró su edad y estado reproductivo (Castillo-Castillo, 2009; Gurnell y Flowerdew, 1994), finalmente los organismos fueron liberados *in situ* (Sikes et al., 2011). La densidad se obtuvo por medio del método de Lincoln-Peterson, modificado para muestras pequeñas (Bailey, 1952; Roff,1973). Debido a la discontinuidad de los valores de las densidades, en los análisis estadísticos sólo se utilizó el valor máximo registrado en los sitios de estudio.

Para la caracterización de la vegetación, en cada área se realizaron 5 cuadros de 10 x10 m (100 m^2), posteriormente cada cuadro se subdividió en una cuadrícula de 2 x 2 m (4 m^2) y 5 de éstos cuadros fueron elegidos aleatoriamente para cuantificar por especie vegetal el número de individuos, la altura y el porcentaje de cobertura-abundancia del índice de Braun-Blanquet, modificado por Van Der Maarel (1979). Se recolectaron y prepararon ejemplares de cada especie para su identificación y/o corroboración en el Herbario (XAL) del Instituto de Ecología A.C. Con el material ya identificado, se elaboró una base de datos, la cual fue utilizada para conocer la composición vegetal general de los sitios de estudio. Con esta información se elaboró un dendrograma de similitud utilizando la distancia euclidiana con datos de la presencia-ausencia de las especies vegetales de los sitios de trabajo con el fin de conocer si se trataban de ambientes similares o diferentes (McGarigal et al., 2000).

Se seleccionaron las 3 especies con los valores más altos de cobertura vegetal en los sitios trabajos, se les añadió la altura y la desviación estándar promedio, ésta última permitirá conocer la variación de la altura de la vegetación presente en los sitios trabajados.

Debido a que las variables utilizadas para describir el hábitat en los sitios dependen típicamente una de otra, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) (McGarigal et al*.,* 2000; Pla, 1986). Se incluyeron las variables de la vegetación por sitio: altura, desviación estándar de la altura, cobertura, riqueza. Al análisis se añadieron las tres primeras variables ya mencionadas de las familias Asteraceae, Poaceae, Caryophillaceae, Euphorbiaceae y Solanaceae, ya que son importantes para la ardilla de Perote al utilizarlas como refugio y/o alimento (Castillo-Castillo, 2009; Hernández-Hernández, 2012). También se realizaron correlaciones de Spearman entre la cobertura, altura de la vegetación y la densidad de la ardilla. Los análisis fueron realizados utilizando el programa estadístico Past 3.10.

Resultados

Durante el período de estudio se capturaron un total de 758 ardillas, 291 hembras y 467 machos; los resultados de las densidades máximas y mínimas por sitio de estudio se muestran en la Tabla 1.

La riqueza vegetal total fue de 99 especies englobadas en 66 géneros y 26 familias (Fig. 2). La familia Asteraceae fue la que tuvo mayor número de especies (28), seguida por Poaceae con 24 y el tercer sitio fue ocupado por Cactaceae (12). Familias como Apocynaceae, Brassicaceae, entre otras sólo estuvieron representadas por una especie.

Las riquezas de los sitios de estudio se muestran en la Figura 3, en la cual se observa un gradiente de antropización, siendo el sitio PNG el que tuvo menor grado de perturbación y la mayor riqueza (57 especies) de todos los sitios. A pesar de que los sitios PPR y PPA registraron el mismo número de especies (33), difirieron en cuanto al número de géneros y familias, por lo que el sitio PPA fue posicionado en el segundo lugar dentro de la figura. Los sitios PCA y PCR mostraron desigualdad en cuanto a su riqueza, siendo PCA el que tuvo los valores superiores. Los sitios PCR y PTC estuvieron representados por los mismos valores de riqueza. El sitio PPG fue el de menor riqueza con sólo 10 especies de 6 familias.

El dendrograma de similitud obtuvo un coeficiente de correlación de 0.98 y la formación de 3 grupos. La primera agrupación la formaron los sitios PPA y PPR, los cuales tuvieron las densidades más altas de la ardilla de Perote con 51.8 y 37.4 ind/ha respectivamente. El segundo grupo lo conformó un subgrupo con las áreas PNA y PCR presentando densidades superiores a 20 ind/ha, este presenta otro subgrupo con el sitio PTC, el cual tuvo la densidad más baja del estudio con 18.8 ind/ha. Estos 2 subgrupos se unieron con el sitio PCA, el cual tuvo una densidad de 20 ind/ha. El tercer conjunto lo formaron los sitios PNG y PCA. El tercer y último grupo sólo lo integró el sitio PNG con la tercera densidad más alta de este estudio, 30.8 ind/ha (Fig. 4).

En lo que respecta al resultado del Análisis de Componentes Principales (PCA) la varianza explicada de los 3 primeros ejes fue de 92.89% (Tabla 2). El primer componente se asoció positivamente con la riqueza y tuvo una relación negativa con la

desviación estándar de la altura de los sitios y de las poáceas. El segundo componente tuvo una asociación positiva con la altura de Asteraceae y Poaceae, así como con la desviación estándar de las asteráceas. El tercer componente tuvo asociación positiva con la altura y con la variación (desviación estándar) de la altura de la vegetación de los sitios de trabajo, así como de la desviación estándar de la altura de las poáceas

Dentro de la representación del PCA se aprecian 3 agrupaciones de los sitios de estudio, la primera quedó constituida por los sitios PTC, PNA, PCR y PCA, en donde las densidades de la ardilla de Perote fueron similares (Tabla 1). La segunda agrupación se integró por los sitios PPR y PPA, áreas con las densidades más altas 51.8 y 37.4 respectivamente. El tercer conjunto sólo lo integró PNG, con una densidad de 30.8 ind/ha (Fig. 5).

Las variables que explican una mayor relación dentro del análisis de PCA fueron la riqueza, la cual estuvo más asociada con los sitios PPA, PPR y PNG. La altura promedio y la desviación estándar de la vegetación de los sitios, junto con la altura y desviación estándar de las poáceas también tuvieron un peso importante dentro del análisis, en particular con la primera agrupación del PCA antes mencionada. La altura y desviación estándar de las asteráceas también estuvo altamente relacionada con los sitios PCA, PCR, PPR y PPA.

Los resultados de las 3 especies vegetales que tuvieron mayor cobertura en los sitios de trabajo se muestran en la Tabla 3. Las especies con mayor cobertura fueron los pastos *Bouteloua scorpioides, Aristida havardii* y *Jarava ichu*; papavaráceas como *Argemone mexicana* y cariofiláceas como *Arenaria lycopodioides.* Los sitios PNG y PNA fueron dominados por poáceas, contrastando con los demás sitios en donde las asteráceas, cariofiláceas, boragináceas y cactáceas también dominaron con su cobertura. La especie más común fue *J. ichu,* ya que dominó en su cobertura en 6 de los 9 sitios de trabajo, así como presentó los promedios de alturas y desviaciones estándar mayores. Los resultados de las correlaciones no mostraron una fuerte relación estadística entre la altura, r=-0.4 y cobertura r= -0.3 de la vegetación y las densidades de *X. perotensis*.

Discusión

Los resultados sobre la vegetación del hábitat de la ardilla de Perote revelaron una riqueza importante en los sitios de estudio, los cuales estuvieron dominados principalmente por las familias Asteraceae, Poaceae, Euphorbiaceae, Convulvulaceae y Solanaceae, coincidiendo con lo señalado por Rzedowski (2006) como familias distintivas de pastizales. Esta riqueza es el resultado de la ubicación que presenta el Valle de Perote, la cual brinda de condiciones únicas que permiten el desarrollo de diversos organismos (Gámez et al., 2012). Los sitios que presentaron mayor riqueza vegetal fueron los de menor grado de transformación antropogénica y los sitios más alterados presentaron menor riqueza, lo cual pudo deberse a que las especies oportunistas e introducidas aprovecharon los disturbios ambientales para lograr su establecimiento remplazando a las plantas nativas (Collins y Barber, 1986; Pasch y Koprowski 2011; Sánchez-Ken et al., 2012).

Los resultados sugieren que una altura de 20 cm y una cobertura de la vegetación poco extendida puede determinar la presencia de la ardilla de Perote, ya que pueden beneficiarse de ellas utilizándolas como refugio (Castillo-Castillo, 2009; Hernández-Hernández, 2012) ante posibles depredadores como *Crotalus spp., Buteo jamaicensis, Falco mexicanus*, *Mustela frenata* y *Canis familiaris,* (Best y Ceballos, 1995; Castillo-Castillo, 2009; García-Domínguez y Priego-Hernández, 2014; Montero-Bagatella, y González-Romero, 2014).

Estudios como los de Murie y Michener (1984), Yensen y Sherman (2003), Fehmi et al. (2005), Hannon et al. (2006) y Bylo et al. (2014), han demostrado que las ardillas terrestres prefieren los pastos cortos, debido a que permiten avistar a los depredadores, una libre entrada a las madrigueras y una comunicación visual con sus congéneres. Los resultados obtenidos, permiten inferir que la estructura de la vegetación influyó sobre las densidades de la ardilla de Perote, ya que en sitios como PNG, PPR y PPA la altura promedio de la vegetación no rebasó los 20 cm y las densidades de la ardilla fueron las más altas. En sitios como PNA, PCA y PCR donde las densidades de la ardilla fueron menores, los promedios de las alturas de vegetación fueron mayores a los 20 cm, incluso las variaciones de altura llegaron a ser superiores

a dicho nivel; aunque el sitio PTC tuvo una altura inferior a los 20 cm su desviación estándar fue de 19 cm. Estos resultados pueden deberse a que estos últimos sitios ya no están expuestos a pastoreos o disturbios inducidos, lo que ha permitido que la vegetación desarrolle alturas y coberturas mayores. Trabajos como los de Humphrey (1962) y Pasch y Koprowski (2011) mencionan que una forma natural de inhibir el establecimiento de arbustos y pastos altos es por medio de los incendios naturales, típicos de pastizales, que permiten a los organismos de talla pequeña como las ardillas, el tener visibilidad ante los depredadores y vías de escape libres. También impiden que los organismos recorran grandes distancias cuando se dispersan (Greene et al. 2009) o estén en búsqueda de alimento, ya que las cenizas fertilizan el suelo y promueven el crecimiento de plantas con flores y pastos nuevos, que son más nutritivos, digeribles y palatables que los pastos desarrollados (Lohr et al., 2013; Pasch y Koprowski, 2011). Sin embargo, si los incendios son recurrentes e intensos como ocurrió en las áreas PNA y PTC, la recuperación del sistema podría tardar más de un año y el establecimiento de organismos podría atrasarse aún más, por lo que dicha práctica implica extremo cuidado en su aplicación (Humphrey, 1962).

Otra manera de promover la heterogeneidad vegetal y los pastos cortos es a través del pastoreo (Fehmi et al., 2005; Gérez- Fernández, 1985; Hoffman et al., 2003; Huntly, 1991). Años atrás el berrendo (*Antilocapra americana*) era un herbívoro natural que cumplía tales funciones, tras su extirpación hace más de 400 años (Gérez-Fernández, 1985), el ganado caprino *(Capra hircus)* sería el más adecuado para sustituirlo, ya que son organismos resistentes a las sequías y a la ausencia de alimento (Rzedowski 2006). No obstante, el manejo pecuario en zonas naturales debe hacerse con cautela debido a que el sobrepastoreo es una perturbación más intensa que los incendios (Collins y Barber, 1986; Huntly 1991), ya que impide el desarrollo y la reproducción de las especies más nutritivas y apreciadas al propiciar el crecimiento de plantas que el ganado no consume y fomentando la erosión del suelo. La suma de estas acciones puede afectar negativamente las densidades de los herbívoros nativos y por lo tanto eliminarse los beneficios que proveen al ecosistema (Best y Ceballos, 1995; Stoddart et al*.,* 1975).

Algunos estudios han demostrado que en pastizales donde habitan grandes herbívoros (Coppock et al.,1983) o ganado vacuno (Derner et al., 2006), esciúridos como los perritos de las praderas presentaron densidades más altas que en zonas en donde éstos no habitaban. Fehmi et al. (2005) explican que este fenómeno se debe a que no existe competencia por los recursos alimentarios entre el ganado y los esciúridos, sino que ésta ocurre entre los pequeños mamíferos. En nuestro estudio, el pastoreo y la agricultura existió en diferentes tiempos e intensidades en todos los sitios de trabajo, actualmente sólo los sitios PTC, PCA y PCR han sido destinados para la conservación y sólo los 2 últimos sitios presentan barreras físicas para exclusión del ganado, mientras que las demás áreas continúan sirviendo de paso ganadero. Si las actividades agropecuarias tuvieran un manejo adecuado, podrían convertirse en una oportunidad para la conservación de la ardilla de Perote como lo sugirieron García-Domínguez et al. (2014) apoyados por las observaciones de la especie en terrenos agrícolas por Mendoza-Carreón (2009), al indicar una asociación positiva entre el pastoreo ligero y la ardilla de Perote. Sin embargo, la mayoría de las tierras de los sitios trabajados son ejidales, por lo que su tenencia y uso es incierto, dejando un futuro inseguro para las especies nativas (Valdez et al., 2006).

Todas las perturbaciones del hábitat de la ardilla pudieron alterar la distribución de los recursos y la calidad del hábitat, por lo que la presencia, conducta y distribución de la ardilla también pudo modificarse (Castillo-Castillo y González-Romero, 2010; Van Horne 1983; Rizo-Aguilar et al., 2014). Dentro de la distribución de los recursos alimentarios, se tuvieron especies como *B. scorpioides* y *S. brevifolius* las cuales forman parte de la dieta de la ardilla (Hernández-Hernández, 2012) y fueron abundantes en el área PNG, no obstante su contenido nutricional es bajo comparado con *Erigeron pubescens* (Hernández-Hernández, 2012), el cual tiene altos valores nutricionales pero fue poco abundante e incluso ausente en los sitios PNA, PCA y PCR. Con tal oferta de recursos, la ardilla de Perote se alimentará de las especies a las cuales tiene acceso y/o sean más abundantes en lugar de elegir a las que tengan mejor calidad como lo mencionó Hernández-Hernández (2012); sin embargo, estos recursos pueden determinar las abundancias de las especies como lo reportaron Greene et al. (2009) en su estudio, al encontrar una asterácea, *Artemisia spp*. que determina la presencia de

ardillas terrestres, ya que le proveen de alimento, agua y protección contra depredadores.

Exceptuando al sitio PTC, la densidad de *X. perotensis* fue superior a lo propuesto por Yensen y Sherman (2003) como densidad mínima viable para ardillas terrestres de 20 ind/ha. Áreas como las PPR y PPA estuvieron cercanas a duplicar la densidad mínima viable, lo cual pudo ser producto de las condiciones que existían como los pastos cortos y la presencia de suficientes recursos para su desarrollo (Castillo-Castillo y González-Romero, 2010, Montero-Bagatella y González-Romero, 2014; Van Horne, 1983). Al analizar las densidades poblacionales, es importante recordar que el estudio se realizó en diferentes años, siendo el 2008 el año con las densidades más altas, en los años subsecuentes éstas disminuyeron en áreas cercanas o a lo reportado en años anteriores, evidenciando descensos poblacionales a causa de los disturbios ambientales, presiones antrópicas y cambios en la disponibilidad de los recursos, que han mermado la presencia y establecimiento de la especie (Montero-Bagatella y González-Romero, 2014). El sitio que no ha sufrido de drásticas transformaciones por ser menos accesible y cercano al desarrollo humano fue el sitio PNG de modo que la vegetación que presentan puede considerarse como la más natural u original del Valle de Perote (Delgadillo, 2011). La presencia de 30 especies vegetales exclusivas de este sitio, asteráceas, cactáceas y poáceas principalmente, influyó en que los resultados del dendrograma y del PCA lo diferenciaran de las demás áreas; además, fue el sitio con mayor riqueza vegetal y tuvo la tercera densidad más alta del estudio, por lo que manifestó características adecuadas para la persistencia de la especie.

Considerando la altura y cobertura de la vegetación de los sitios trabajados, planteamos que los más adecuados para el desarrollo de la ardilla de Perote fueron las áreas PNG, PPR y PPA, en los cuales la especie pudo obtener los recursos de protección, avistamiento a depredadores y alimento que las ardillas terrestres como *X. perotensis* necesitan. En dichos sitios se podría promover la presencia de la especie, ya que los individuos han resistido continuos disturbios naturales e inducidos, los cuales han reducido su restringida área de distribución y provocando descensos poblacionales (Mendoza-Carreón 2009; Montero-Bagatella y González-Romero, 2014; Ochoa et al., 2012; Sánchez-Cordero et al*.,* 2005). Sugerimos que estos resultados incrementan el

conocimiento acerca de la ecología de la especie y que en estudios futuros se podrían considerar otras variables como el tipo de suelo, pedregosidad, la cantidad de alimento disponible o el número de depredadores con el fin de conocer si existe una relación entre estas variables y la densidad (Greene et al., 2009; Lohr et al., 2013). Además, la información presentada puede utilizarse para generar estrategias para la conservación del hábitat de la ardilla, que junto con acciones locales y gubernamentales podrían ayudar no sólo a conservar a la especie, sino a otros endemismos de flora y fauna (Gámez et al., 2012; González-Ruíz et al., 2005; Valdez et al., 2006).

Agradecimientos

S.H.M-B. agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada (No. 233712). A C. Castillo-Castillo, G. Delgadillo y A. González-Gallina por proporcionarnos sus datos de campo para complementar el estudio. A Pedro Franco e Israel Acosta por su ayuda en la colecta e identificación de ejemplares de la vegetación. Al Herbario XAL por las facilidades brindadas para la realización de este estudio y a todas las personas que amablemente ayudaron en el trabajo de campo. Agradecemos a A. Sandoval por su apoyo en SIG y a L. García-Feria por sus oportunos comentarios para el escrito.

Los autores agradecen a la Dirección General de Vida Silvestre por los permisos otorgados (SGPA/DGVS/05833/08 y SGPA/DGVS/03369/15) y a Granjas Carroll de México, S de R.L, de C.V especialmente a los Ing. Tito Tablada, Héctor Flores y Noemí Rosas.

Referencias

Aguilar, C., Martínez E. y Arriaga, L. 2000. Deforestación y fragmentación de ecosistemas: ¿qué tan grave es el problema en México?. *Biodiversitas,* 30, 7-11.

Álvarez-Castañeda, S. T., Castro-Arellano, I., Lacher, S. T, y Vázquez, E. 2008. *Spermophilus perotensis*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014. 2. http://www.iucnredlist.org

Bailey, N. 1952. Improvements in the interpretation of recapture data. *Journal of Animal Ecology,* 21, 120-17.

Best, T. y Ceballos, G. 1995. *Spermophilus perotensis*. *Mammalian Species*, 507, 1-3.

Castillo-Castillo, C. 2009. *Densidad, estructura poblacional y hábitat de la ardilla endémica de Perote (Spermophilus perotensis Merriam, 1893*). Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, A. C. México.

Challenger, A., y Soberón, J. 2008. Los ecosistemas terrestres. En Soberón, J, Halffter, G. y Llorrente-Bousquets, J. (Eds), *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad* (pp. 87-108). Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.

Céspedes-Flores, S. E. y Moreno-Sánchez, E. 2010. Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México. Investigación ambiental. *Ciencia y política pública*, 2, 5-12.

Coppock, D. L., Ellis, J. E., Detling, J. K., y Dyer, M. I. 1983. Plant-Herbivore Interactions in a North American Mixed-Grass Prairie II. Responses of Bison to Modification of Vegetation by Prairie Dogs. *Oecologia*, 56, 10-15.

Delgadillo-Quezada, G. 2011. *Distribución, selección de hábitat y densidad de la liebre torda (Lepus callotis, Wrangler, 1830) en el Valle de Perote*. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Ver. México.

Derner, J. D., Detling, J. K. y Antolin, M. F. 2006. Are livestock weight gains affected by Black-Tailed Prairie Dogs?. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4, 459-464.

Gámez, N., Escalante, T., Rodríguez, G., Linaje, M. y Morrone, J. 2012. Caracterización biogeográfica de la Faja Volcánica Transmexicana y análisis de los patrones de distribución de su mastofauna. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 258-272.

Gerez-Fernández, P. 1985. Uso del suelo durante cuatrocientos años y cambio fisionómico en la zona semiárida Poblano-Veracruzana, México. *Biótica*, 10, 123-144.

Greene, E., Anthony, R. G., Marr, V. y Morgan, R. 2009. Abundance and habitat associations of Washington Ground Squirrels in the Columbian Basin, Oregon. *The American Midland Naturalist,* 162, 29-42.

Hernández-Hernández, J. C. 2012. *Variación estacional y calidad de la dieta de la ardilla terrestre Xerospermophilus perotensis, Merriam 1893, en la localidad el Frijol Colorado, municipio de Perote, Veracruz*. Tesis de Maestría. Instituto de Neuroetología. Universidad Veracruzana. México.

García-Domínguez, J. A., Rojas-Soto O. R., Galindo-González J. R., González-Romero, A., Pineda-López, M, R. y Noa-Carrazana J. C. 2014. Present and future potential distribution of the endemic Perote Ground Squirrel *Xerospermophilus perotensis* under different climate changes scenarios, *Mammalia*, 78, 507-521.

García-Domínguez, J.A y Priego-Hernández, E. 2014. Predation record a Perote ground squirrel (*Xerospermophilus perotensis*) by a prairie falcon (*Falco mexicanus*). *Mammalia*, 79, 232-236.

González-Gallina, A., Benítez-Baldillo, G., Rojas-Soto, O. R. e Hidalgo-Mihart, M. G. 2013. The small, the forgotten and the dead: highway impact on vertebrates and its implications for migitation strategies. *Biological Conservation*, 22, 325-342.

González-Ruíz, N., Álvarez-Castañeda, S. T. y Álvarez, S. 2005. Distribution, taxonomy and conservation status of the Perote mouse *Peromyscus bullatus* (Rodentia: Muridae) in Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 14, 3423-3436.

Gurnell, J., y Flowerdew, J. R. 2006. *Live trapping small mammals: a practical guide. Cuarta edición.* The Mammal Society. Inglaterra.

Hoogland, J. 2007. Conservation of prairie dogs. En: Wolff, J. y P. Sherman (Eds). *Rodent societies, an ecological and evolutionary perspective* (pp. 472- 4776). The University of Chicago Press. Chicago. EU.

Humphrey, R. 1962. *Range ecology*. The Ronald Press. Company. EU.

Huntly, N. 1991. Herbivores and the dynamics of communities and ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics,* 22, 477-503.

Lohr, K., Yensen, E., Munger, J. C. y Novak, S. J. Relationship between habitat characteristics and densities of Southern Idaho ground squirrels. *The Journal of Wildlife Management,* 983-993.

Luna, I., Morrone, J. J. y Espinosa D. 2007. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. Comisión Nacional para la Biodiversidad. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Mares, M. A. 1985. Conservation in South America: problems, consequences, and solutions. *Science,* 233, 734-739.

Matlack, R. S, Kaufman, D., W. y Kaufman, G. A. 2008. Influence of woody vegetation on small mammals in tallgrass prairie. *The American Midland Naturalist*, 160, 7-19.

McGarigal, K., Cushman, S. y Stafford, S. 2000. *Multivariate statistics for wildlife and ecology research.* Springer. EU.

Medina, M. y Angulo M. 1990. *Atlas climático del Municipio de Perote (Estado de Veracruz)*. Instituto de Ecología, A. C. México.

Mendoza-Carreón, G. 2009. *Distribución y relaciones filogenéticas del moto (Spermophilus perotensis).* Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Ver., México.

Montero-Bagatella, S. H. y González-Romero, A. 2014. Análisis demográfico de una especie en estado crítico: la ardilla de Perote. *Therya*, 5, 737-750.

Ochoa, A., Gasca, J., Ceballos, G. y Eguiarte, L. 2012. Spatiotemporal population genetics of the endangered Perote ground squirrel (*Xerospermophilus perotensis*) in a fragmented landscape. *Journal of Mammalogy*, 93, 1061-1074.

Pasch, B. y Koprowski, J. L. 2011. Impacts of fire supression on space use by Mexican fox squirrels. *Journal of Mammalogy*, 92, 227-234.

Pla, L. 1986. *Análisis multivariado: método de componentes principales*. Secretaría General de los Estados Americanos. Programa de Desarrollo Científico y Tecnológico. EU.

Rabinowitz, A. 1993. *Wildlife Field Research and Conservation Training Manual*. Paul-Art Press Inc.

Rizo-Aguilar, A., Guerrero, J. A., Hidalgo-Mihart, M. G. y González-Romero, A. 2015. Relationship between the abundance of the Endangered volcano rabbit *Romerolagus*

diazi and vegetation structure in the Sierra Chichinautzin mountain range, Mexico. *Oryx*, 49, 360-365.

Roff, D. 1973. On the accuracy of same mark-recapture estimator. *Oecology*. 12:15-34.

Rzedowski, J. 2006. *Vegetación de México*. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

Sánchez-Cordero, V., Illoldi-Rangel, P., Linaje, M., Sarkar, S. y Townsend, A. 2005. Deforestation and extant distribution of Mexican endemic mammals. *Biological Conservation,* 126, 465-473.

Sánchez-Ken, J., Zita, G. y Mendoza, M. 2012. *Catálogo de las gramíneas malezas nativas e introducidas de México.* Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Asociación Mexicana de la Ciencia de la Maleza ASOMECIMA, A.C.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestre- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Nación (Segunda sección)*. México.

Sikes, R. S., Gannon, W. L., y The Animal Care and Use Committee of The American Society of Mammalogists. 2011. Guidelines of The American Society of Mammalogists for the use of Wild Mammals in Research. *Journal of Mammalogy,* 92, 235-253.

Stoddart, L., Smith, A. y Box T. 1975. *Range management*. Mc Graw Hill. Tercera edición. Nueva York. EU.

Valdez, M. y Ceballos, G. 1997. Conservation of endemic mammals of Mexico: the Perote ground squirrel *(Spermophilus perotensis*). *Journal of Mammalogy*, 78, 74-82.

Valdez, M. 2003. Las ardillas de México. *Biodiversitas*, 51: 1-7.

Maarel, Van Der E. 1979. Transformation of cover-abundance values in phytosociology and effects on community similarity, *Vegetation,* 38, 143-156.

Valdez, R., Guzmán-Aranda, J. C., Abarca., F. J., Tarango-Arámbula, L. A. y Clemente-Sánchez, F. 2006. Wildlife Conservation and Management in Mexico. *Wildlife Society Bulletin*, 34, 270-282.

Van Horne, B. 1983. Density as a misleading indicator of habitat quality. *Journal of Wildlife Management*, 47, 893-901.

Yensen, E. y Sherman, P. W. 2003. Ground squirrels: *Spermophilus* and *Amnospermophilus* species. En Feldhamer, G. A., Thomson, B. C y Chapman J. A. (Eds) *Wild Mammals of North America: Biology, Management and Conservation* (pp. 211-231). Segunda Edición. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, Maryland, E.U.

Zar, J. H. 1999. Bioestatistical analysis. 4th Prentice Hall. New Jersey, EU.

Tabla 1. Densidades máximas y mínimas de la ardilla de Perote en los sitios de trabajo.

Sitios	Máxima	Mínima
PNG	30.8	3
PPR	51.8	10.1
PPA	37.4	7
PNA	24	6
PTC	18.8	5
PCA	20	1.5
PCR	28	3

Tabla 2. Resultados del análisis de componentes principales con respecto a la caracterización de las especies vegetales de las localidades de estudio. Se presenta la varianza explicada y acumulada por cada componente y el peso de contribución de cada variable. Se señala en negritas los valores más altos.

	CP 1	**CP 2**	**PC 3**
Eigenvalores	505.307	107.636	62.912
Varianza explicada	69.457	14.795	8.6475
Riqueza	**0.72886**	0.064696	0.37953
Altura promedio de la vegetación de los sitios	-0.12927	0.34783	**0.41085**
DS de la altura de la vegetación de los sitios	**-0.32529**	-0.074349	**0.54768**
Cobertura sitio	-0.0064523	-0.019272	-0.01337
Altura Asteraceae	-0.036296	**0.60876**	-0.0012105
Desviación estándar altura Asteraceae	0.027513	**0.34975**	-0.033569
Cobertura Asteraceae	0.01805	-0.073563	-0.077206
Altura Caryophyllaceae	0.31512	0.043242	0.36089
Desviación estándar Caryophyllaceae	0.1089	-0.035992	0.1859
Cobertura Caryophyllaceae	-0.056028	0.13655	0.035121
Altura Poaceae	-0.27941	**0.48107**	0.030146
Desviación estándar Poaceae	**-0.38838**	-0.31142	**0.43273**
Cobertura Poaceae	-0.0055766	0.13792	-0.089479
Altura Solanaceae	-0.0049074	0.0071438	-0.036768
Desviación estándar Solanaceae	0.0014722	-0.0021431	0.01103
Cobertura Solanaceae	0.014722	-0.021431	0.1103
Altura Euphorbiaceae	-0.0037285	0.0080622	0.022165
Desviación estándar altura Euphorbiaceae	0.016302	-0.016222	-0.059366
Cobertura Euphorbiaceae	0.0057025	0.0227	0.0087197

Tabla 3. Especies vegetales con las coberturas más altas en los sitios de estudio. Se muestra su cobertura, altura y desviación estándar promedio.

Sitios	Familia	Especies	Cobertura $\bar{x}$	Altura $\bar{x}$ (cm)	DS altura $\bar{x}$ (cm)
PNG	Poaceae	*Aristida havardii*	5	8	3
PNG	Poaceae	*Sclerepogon brevifolius*	5	12	3
PNG	Poaceae	*Jarava ichu*	5	13	4
PPR	Poaceae	*Jarava ichu*	5	13	4
PPR	Asteraceae	*Bidens anthemoides*	5	14	3
PPR	Brassicaceae	*Brassica campestris*	5	17	2
PPA	Asteraceae	*Parthenium bipinnatifidum*	5	15	4
PPA	Boraginaceae	*Heliotropium confertifolium*	5	14	5
PPA	Poaceae	*Aristida divaricata*	5	16	3
PNA	Poaceae	*Jarava ichu*	6	48	18
PNA	Poaceae	*Arenaria lycopodioides*	7	9	1
PNA	Poaceae	*Aristida havardii*	7	15	1
PTC	Poaceae	*Jarava ichu*	8	40	9
PTC	Caryophyllaceae	*Arenaria lycopodioides*	9	4	1
PTC	Papavaraceae	*Argemone mexicana*	9	15	2
PCA	Poaceae	*Jarava ichu*	5	39	8
PCA	Caryophyllaceae	*Arenaria lycopodioides*	6	11	1
PCA	Poaceae	*Bouteloua scorpioides*	6	27	4
PCR	Poaceae	*Bouteloua scorpioides*	5	25	0
PCR	Poaceae	*Jarava ichu*	6	63	17
PCR	Poaceae	*Aristida havardii*	8	26	2

Lista de figuras

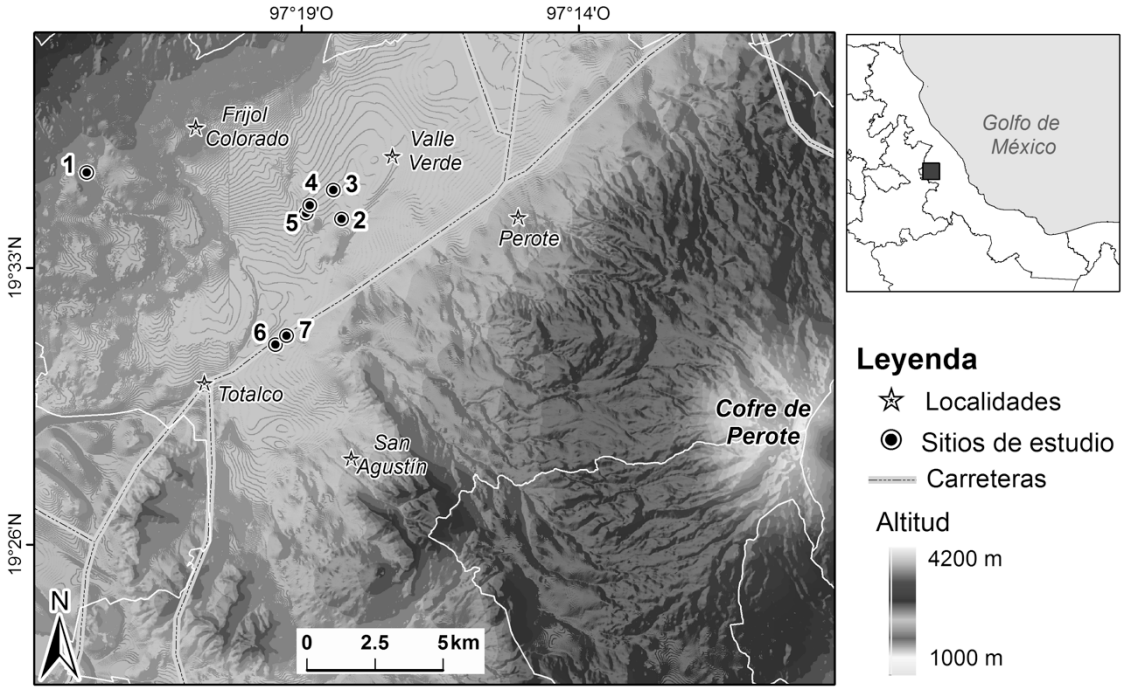
Figura 1. Localización de los sitios de estudio. Se muestran las principales localidades y caminos. Donde 1= Pastizal Natural Gravoso (PNG), 2= Pastizal Pastoreado Reciente (PPR), 3= Pastizal Pastoreado Antiguo (PPA), 4= Pastizal Natural Arenoso (PNA), 5= Pastizal de Terreno para la Conservación (PTC), 6= Pastizal Cercado Antiguo (PCA), 7= Pastizal Cercado Reciente (PCR).

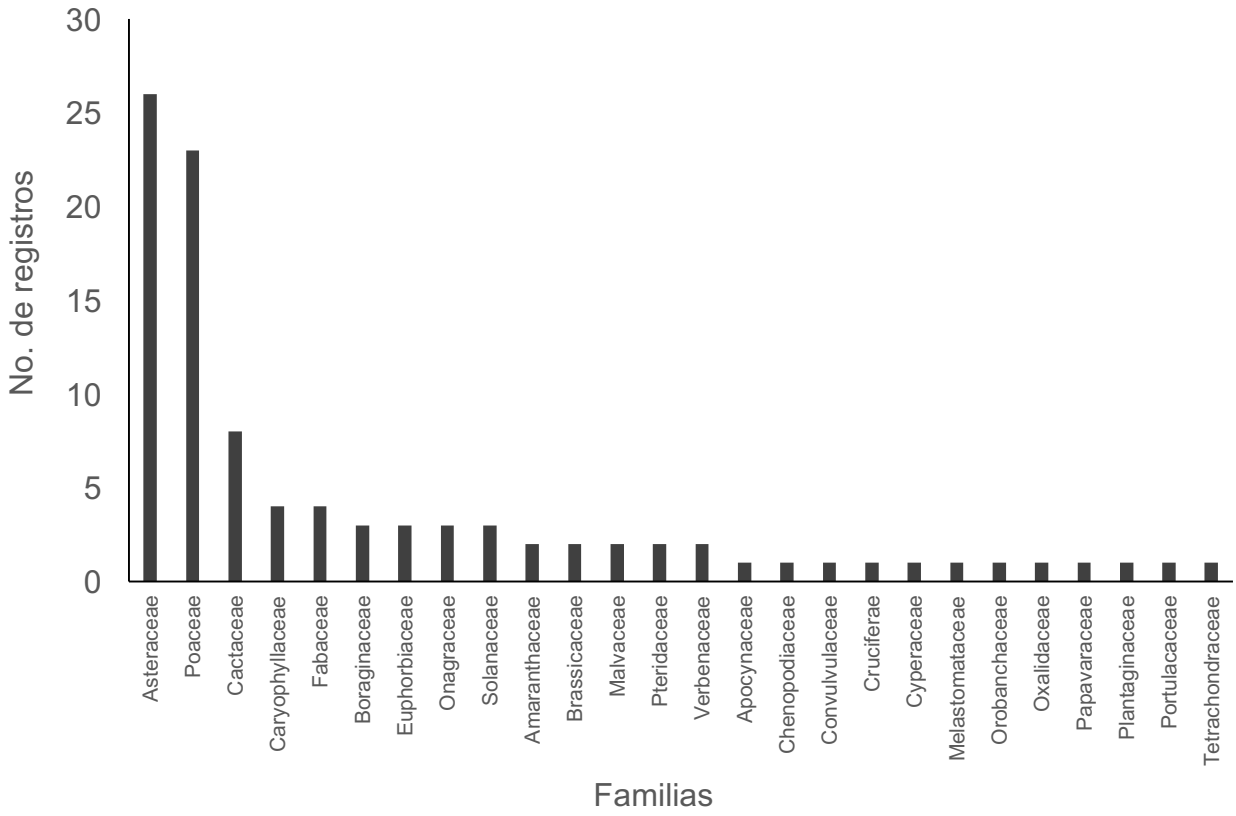
Figura 2. Riqueza vegetal total de los sitios de trabajo.

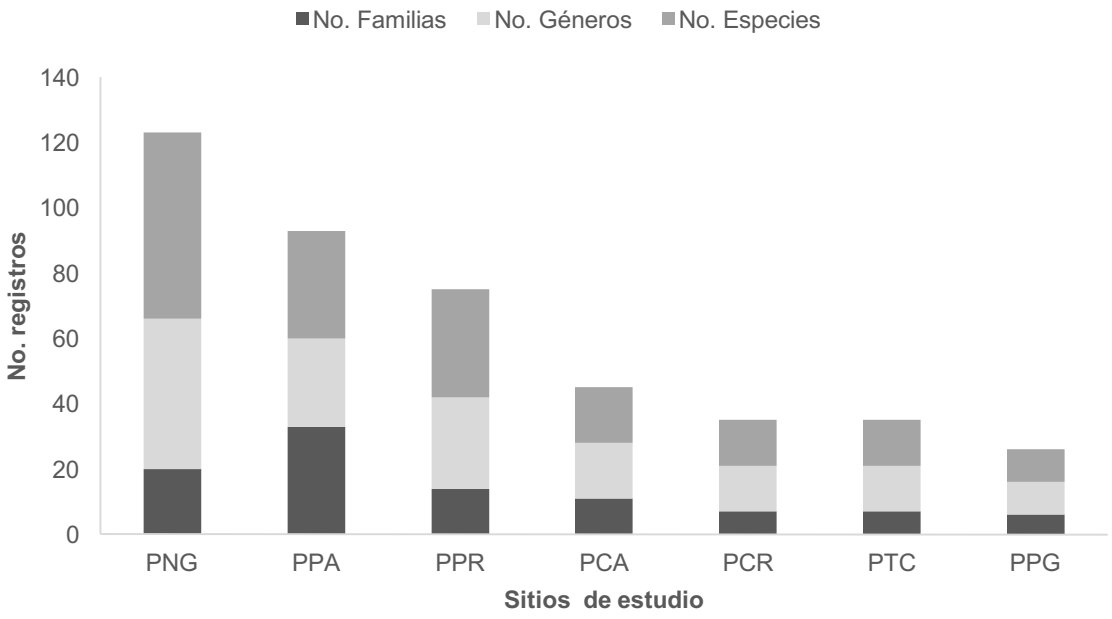
Figura 3. Composición vegetal de los sitios de estudio.

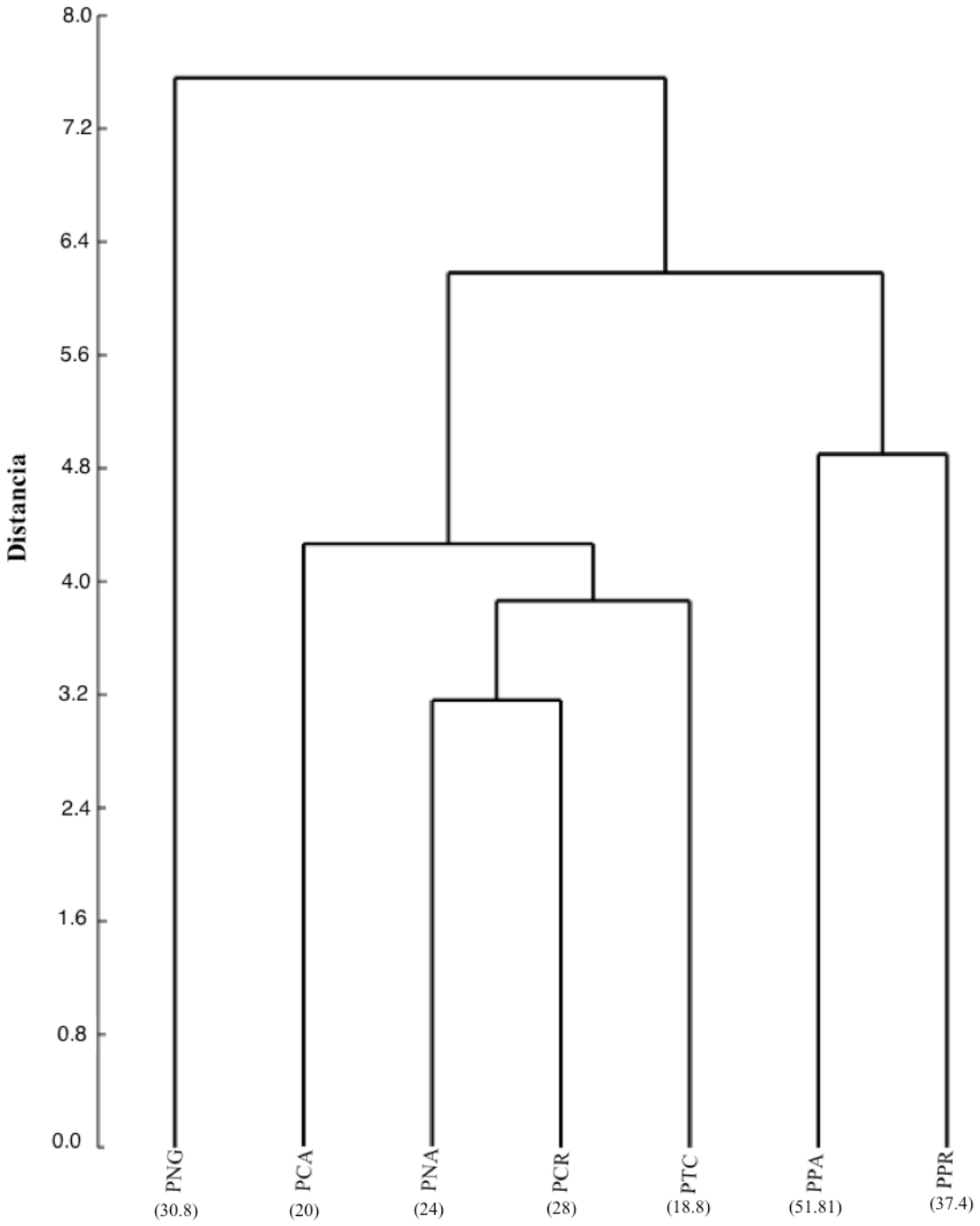
Figura 4. Dendrograma de similitud de los sitios de estudio. Se muestran en paréntesis las densidades máximas de *X. perotensis*.

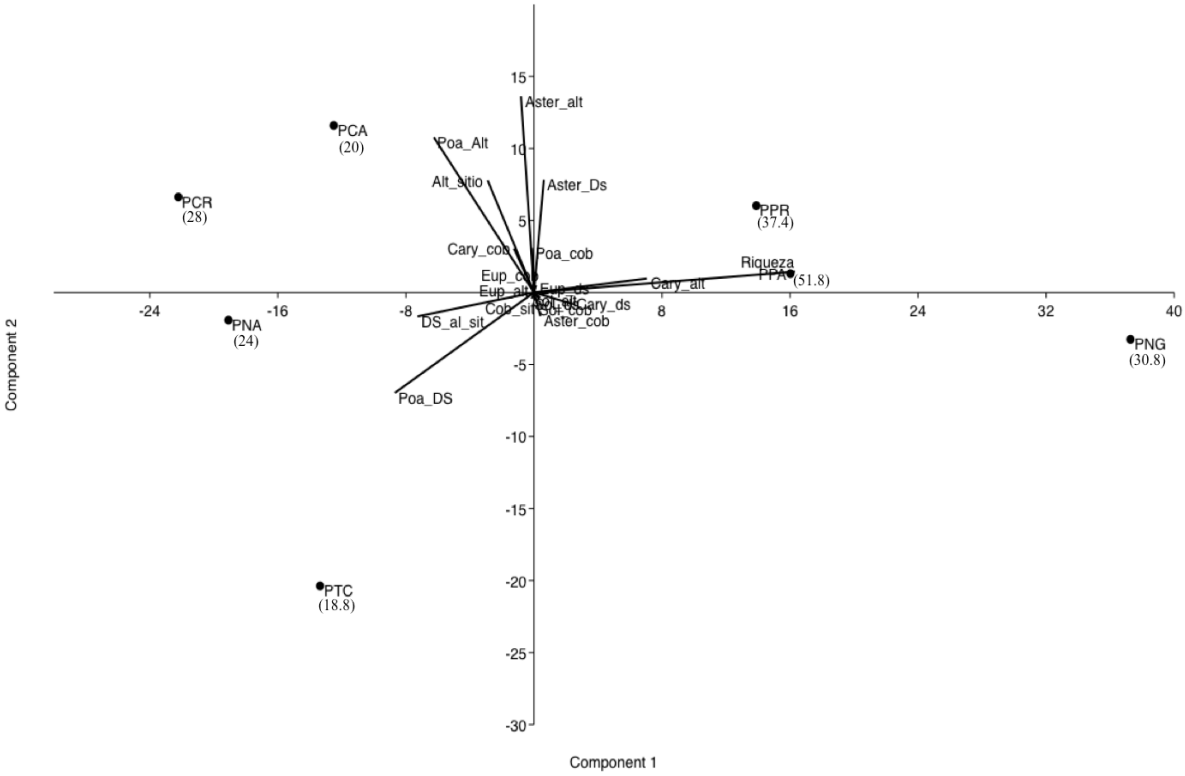
Figura 5. Análisis de Componentes Principales. Donde Alt_sitio = Altura promedio de la vegetación de los sitios, DS_al_sit = Desviación estándar de la altura de la vegetación de los sitios, Cob_sit = Cobertura sitio, Aster_alt = Altura Asteraceae, Aster_Ds = Desviación estándar altura, Asteraceae, Aster_cob = Cobertura Asteraceae, Cary_alt = Altura Caryophillaceae, DS_Cary = Desviación estándar Caryophyllaceae, Cob_Cary = Cobertura Caryophyllaceae, Poa_alt = Altura Poaceae, Poa_DS= Desviación estándar Poaceae, Poa_Cob= Cobertura Poaceae, Sol_alt = Altura Solanaceae, DS_sol = Desviación estándar Solanaceae, Cob_sol = Cobertura Solanaceae, Eup_alt= Altura Euphorbiaceae, Ds_Eup = Desviación estándar altura Euphorbiaceae, Cob_Eup = Cobertura Euphorbiaceae. Se muestran en paréntesis las densidades máximas de *X. perotensis*.


97°19'O
97°14'O
19°33'N
19°26'N
Frijol Colorado
Valle Verde
Perote
Totalco
San Agustín
Cofre de Perote
1
2
3
4
5
6
7
N
0 2.5 5km
Golfo de México
Leyenda
Localidades
Sitios de estudio
Carreteras
Altitud
4200 m
1000 m


30
25
20
15
10
5
0
No. de registros
Asteraceae
Poaceae
Cactaceae
Caryophyllaceae
Fabaceae
Boraginaceae
Euphorbiaceae
Onagraceae
Solanaceae
Amaranthaceae
Brassicaceae
Malvaceae
Pteridaceae
Verbenaceae
Apocynaceae
Chenopodiaceae
Convulvulaceae
Cruciferae
Cyperaceae
Melastomataceae
Orobanchaceae
Oxalidaceae
Papavaraceae
Plantaginaceae
Portulacaceae
Tetrachondraceae
Familias


No. Familias
No. Géneros
No. Especies
140
120
100
80
60
40
20
0
No. registros
PNG
PPA
PPR
PCA
PCR
PTC
PPG
Sitios de estudio


Distancia
8.0
7.2
6.4
5.6
4.8
4.0
3.2
2.4
1.6
0.8
0.0
PNG
(30.8)
PCA
(20)
PNA
(24)
PCR
(28)
PTC
(18.8)
PPA
(51.81)
PPR
(37.4)


Aster_alt
PCA
(20)
Poa_Alt
Alt_sitio
Aster_Ds
PCR
(28)
PPR
(37.4)
Cary_cob
Poa_cob
Riqueza
PPA
(51.8)
Cary_alt
Eup_ds
Cary_ds
Aster_cob
DS_al_sit
PNA
(24)
PNG
(30.8)
Poa_DS
PTC
(18.8)
Component 2
Component 1

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES GENERALES

1. Los resultados mostraron que la ardilla de Perote presenta patrones fenológicos similares a las ardillas del género *Spermophilus*, al responder a los cambios de temperatura y presentar un ciclo de productividad que inicia en la primavera y finaliza en el otoño. Las abundancias de las poblaciones fueron más altas en abril, cuando la hibernación termina y comienza la etapa reproductiva. Las abundancias más bajas ocurrieron en octubre provocado por la baja temperatura, la escasez de recursos y el inicio de la hibernación.

2. El número de capturas de machos indican que fueron los primeros tanto en entrar a la hibernación como en salir de la misma. Los machos fueron los más abundantes a lo largo del estudio, siendo los machos escrotados los registrados con mayor frecuencia y las hembras con signos de preñez fueron las menos registradas.

3. En lo que respecta a la categoría de edades, los adultos fueron los más abundantes; los bajos registros de juveniles indican que las poblaciones pueden estar envejeciendo, que no se están renovando y que tampoco están aumentando, por lo que las probabilidades de desarrollo de la especie son pocas. Considerando además su baja capacidad de dispersión, la reducción y constante transformación de su hábitat, la especie presenta graves problemas para persistir, lo cual ya ha sido señalado en estudios previos acerca de la especie.

4. El peso de los organismos tuvo fluctuaciones a lo largo de los muestreos, como respuesta a los eventos reproductivos y de la hibernación, los cuales requieren de una fuerte inversión energética. Los disturbios ambientales (fuegos incontrolados y arado de las tierras) acontecidos en algunos sitios de estudio también pudieron influir en el peso de los organismos, ya que los disturbios pudieron limitar la disponibilidad de recursos y aumentar la competencia.

5. Los sitios de estudio tuvieron una riqueza vegetal importante, las familias Asteraceae, Poaceae, Euphorbiaceae y Solanaceae, típicas de ambientes de pastizales,

fueron las más frecuentes en los sitios de estudio. Los sitios con mayor riqueza fueron los de menor grado de transformación antropogénica y los más alterados presentaron menor riqueza. Esta riqueza es producto tanto de la ubicación que presenta el Valle de Perote como del recambio de las especies nativas por las introducidas y oportunistas.

6. Las especies con mayor cobertura fueron las poáceas *Bouteloua scorpioides, Aristida havardii* y *Jarava ichu*, esta última fue la especie más común y además presentó las alturas y desviaciones estándar más altas.

7. Los resultados tanto de la altura como de la cobertura de vegetación sugieren estar determinando la presencia de *X. perotensis,* puesto que en los sitios con altura inferior a los 20 cm y con una cobertura media se reportaron las densidades de ardillas más altas, lo que les permite de avistar a los depredadores, tener una libre entrada a las madrigueras, comunicación visual con sus congéneres y su uso como refugios. Especies como *B. scorpioides, S. brevifolius, Argemone mexicana, Solanum spp,* entre otras, forman parte de la dieta de la ardilla, por lo que la presencia de estos recursos, pudo estar influyendo en las abundancias de *X. perotensis.*

Capítulo V

RECOMENDACIONES

- Para promover la estructura de hábitat que la ardilla de Perote prefiere, pastos cortos y con cobertura de vegetación no muy densa, se recomienda la eliminación de arbustos y pastos altos, lo cual podría obtenerse por medio de un pastoreo controlado del ganado caprino, el cual no sobrepasara la capacidad de carga del ambiente. Incluso si existiera un manejo pecuario adecuado se podría propiciar el crecimiento de las poblaciones de la ardilla, como ya ha ocurrido en otras especies de esciúridos como los perritos de las praderas. Otra alternativa, puede ser a través del paso de maquinaria que se utiliza para descomprimir la tierra, promoviendo la formación de los pastos nuevos y la aireación del suelo. Otra acción, sería por medio de un cuidadoso sistema de incendios controlados, acción que los ejidatarios frecuentemente utilizan en sus tierras, sin embargo la sugerencia es que sean incendios manejados y controlados para evitar la expansión a otras áreas. No obstante, se recomienda que para tales acciones lo adecuado sería analizar la capacidad de carga del sistema con el fin de evitar transformar aún más el hábitat de la ardilla de Perote.

- Se recomienda promover el uso de las tierras para la conservación de flora y fauna de la zona, la cual es rica en endemismos, lo cual podría lograrse a través de programas de educación ambiental con los ejidatarios, así como incitar a la participación en el programa de la obtención de recursos por servicios ambientales y lograr aliados a favor de la conservación. También se sugiere que la empresa Carroll de México siga preservando tierras para la conservación y que se continúe instruyendo a su personal acerca del valor de la fauna silvestre local.

- Los resultados de este estudio incrementan el conocimiento que se tiene acerca de la ecología de la especie, no obstante, se propone que el monitoreo poblacional permanezca, para así tener continuidad en los registros de las poblaciones de la ardilla de Perote. Además, se sugiere que en estudios futuros acerca del hábitat de la especie se integren otras variables como el tipo de suelo, pedregosidad, la cantidad de alimento disponible o el número de depredadores, esto con el fin de conocer si existe una relación entre estas variables y la densidad. A pesar de ser una especie que enfrenta severos problemas de conservación, aún existen varios estudios a detallar como su

dieta, la radiotelemetría para abordar ámbitos hogareños, estudios reproductivos, genéticos, etc. El conjunto de información que se ha obtenido en este trabajo puede utilizarse para generar estrategias para la conservación del hábitat de la ardilla, que junto con acciones locales y gubernamentales podrían ayudar no sólo a conservar a la especie, sino a otros endemismos de flora y fauna