



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Caracterización de sitios potenciales para reintroducción
de *Romerolagus diazi* en el Área de Protección de Flora y
Fauna Nevado de Toluca, México

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

ALMA ABIGAIL LUNA GIL



DIRECTOR: DR. OCTAVIO MONROY VILCHIS

CODIRECTOR: DR. ANGEL ROLANDO
ENDARA AGRAMONT

Toluca, México

Octubre 2017

DEDICATORIA

A Dios y a mi familia,

Quienes me han dado todo sin detener su corazón...

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios, agradezco tanto por guiar mi vida y su amor infinito, porque todo lo puedo en Él...vivo por y para ti mi Dios.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) por el financiamiento del proyecto que hizo posible esta tesis.

Mi papá, por ser ese pilar y ejemplo de mi vida, por todo el apoyo brindado y consejos certeros que me han hecho mejor, por todo su esfuerzo.

Mis hermanos y mamá: Andrés, por sus ejemplos de fortaleza y constancia; Karen, por ser más que una hermana, Pedro, Ali y Abraham, por su amor e impulso; mamá, por su respaldo, los amo demasiado.

Dr. Octavio por sus enseñanzas de la mejor carrera, por su paciencia y preocupación constante.

Dr. Angel, por transmitir esa pasión por los bosques, por su confianza, consejos y motivación en todo tiempo.

Dra. Martha, por sus observaciones y apoyo en campo y gabinete.

M. en C. Giovany, por sus sugerencias y comentarios enriquecedores.

Tano, por su sinceridad y ayuda en temas estadísticos; Ángel y Zuleyma, por su amistad y apoyo otorgado.

Santi, por los momentos en campo y elaboración de mapas.

Toda la banda de alta montaña: Angel, Marthita, por hacer posible todos los bellos momentos; Giovanni, por su sincera amistad y observaciones; Fabi, por su maravillosa amistad y correcciones; Dennise, por su apoyo en la identificación de material botánico; Sandra, por su confianza y amistad; Santi, Toño, Lety, Paco, Deuri, y geólogos, gracias por su esfuerzo. Agradezco inmensamente a todos por su apoyo en campo y enormes enseñanzas.

Mis amigas: Tanya, Eli, Jossye, Ale, Celeste y Carol, por su exhortación y cariño, todas las risas e inolvidables momentos y porque siempre estuvieron a mi lado.

Todas las hermosas personas que han formado parte de mi vida y que, de muchas maneras me han apoyado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	4
ÍNDICE DE CUADROS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
Morfología y taxonomía.....	9
Hábitat.....	10
Distribución	10
Estado de conservación.....	11
ANTECEDENTES	13
OBJETIVOS	17
MATERIALES Y MÉTODOS	18
Área de estudio.....	18
Diseño experimental	18
Caracterización del hábitat.....	19
Análisis de datos	20
RESULTADOS.....	23
Análisis factorial	26
Análisis discriminante.....	28
DISCUSIÓN	30
CONCLUSIONES.....	35
RECOMENDACIONES	36
LITERATURA CITADA.....	37
ANEXOS	44

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Variables utilizadas en análisis discriminante.....	22
Cuadro 2. Frecuencias de especie/género dominante para los estratos.....	25
Cuadro 3. KMO y prueba de Bartlett (sin excretas).....	26
Cuadro 4. Matriz de componentes rotados (sin excretas).	26
Cuadro 5. KMO y prueba de Bartlett (con excretas).....	27
Cuadro 6. Matriz de componentes rotados (con excretas).....	27
Cuadro 7. Resultados de la prueba de Box.....	28
Cuadro 8. Variables introducidas/excluidas.....	28
Cuadro 9. Análisis estadístico del porcentaje herbáceo entre UM con evidencia de excretas y UM sin excretas.	29
Cuadro 10. Porcentaje de las variables afloramiento rocoso y pastoreo entre UM con evidencia de excretas y UM sin excretas.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de <i>Romerolagus diazi</i> en México.....	11
Figura 2. Áreas potenciales de distribución de R. diazi.....	13
Figura 3. Colecta de datos en campo.....	19
Figura 4. Unidad de medición.....	20
Figura 5. Ejemplo de excretas de lagomorfos encontradas en el APFFNT.....	23
Figura 6. Referencia espacial de excretas correspondientes a <i>Romerolagus diazi</i> en el APFFNT.....	24
Figura 7. Histograma de frecuencia de <i>Romerolagus diazi</i> acorde con la altitud. .	24

RESUMEN

Se realizó un muestreo intensivo en el APFF Nevado de Toluca (1807 UM), el 2.27% de las UM (41) mostraron evidencia de *Romerolagus diazi*. Se generó un mapa con sitios georreferenciados de excretas de *R. diazi* que, junto con las variables bióticas asociadas a la especie, se describió su hábitat: *R. diazi* se asocia a la comunidad *Pinus hartwegii* - *Festuca* spp. - *Senecio cinerarioides*, entre los 3500 a 3700 m de altitud. Se encontró que el afloramiento rocoso y una cobertura herbácea por encima del 70% favorecen la presencia de *R. diazi*, en contraste, el pastoreo determina la ausencia de la especie. Los resultados, evidencian un nuevo registro para su área de distribución además, para una posible reintroducción de la especie en dicha área.

INTRODUCCIÓN

En México, hasta años recientes, la conservación empieza a dirigirse hacia los hábitats de las especies (Velázquez 1998, Farías 2011), surgiendo así las Áreas Naturales Protegidas (ANP's). Sin embargo, el funcionamiento óptimo de éstas, asegura sólo un porcentaje menor de la biodiversidad del mundo (Velázquez y Heil 1996). Esta afirmación, subraya la necesidad de llevar a cabo una investigación exhaustiva sobre las relaciones entre hábitat y especies en peligro de extinción, en el tiempo (pasado y presente) y el espacio (dentro y fuera de las áreas protegidas) simultáneamente, de manera que los planes de conservación consideren estos resultados.

Una de las especies que requiere conservación de su hábitat, es el conejo zacatuche o teporingo (*Romerolagus diazi*), ya que su vulnerabilidad a la extinción no ha sido un proceso al azar (Velázquez *et al.* 2011). Ciertas características biológicas pueden hacer a algunas especies más vulnerables, entre éstas están el, ser especialista de hábitat y/o de dieta, capacidad de dispersión baja y distribución geográfica restringida. Además de tasas bajas de reproducción y densidades poblacionales bajas (Galindo y Velázquez 1999). El zacatuche tiene un rango geográfico extremadamente restringido, es especialista de hábitat, posiblemente también lo sea en cuanto a su alimentación, y su capacidad de dispersión probablemente es relativamente baja. Todas estas características intrínsecas y presiones antrópicas, lo sitúan en una posición de alto riesgo.

Aranda (2000), menciona que el rastro es un vestigio, señal o indicio que dejan los mamíferos durante sus actividades, huellas y excretas, son los principales rastros para identificar de manera indirecta la presencia de cierta especie. Particularmente, las excretas de *R. diazi*, se identifican por la ocurrencia en un mismo sitio, denominadas letrinas, se encuentran en la base de los zacatones y cerca de entradas de madrigueras (Velázquez *et al.* 1996a). Por lo tanto, para estar seguros de la presencia del zacatuche en un área, basta con verificar la presencia de letrinas de la especie; descritas como pellas de materia vegetal triturada y compacta, de color café (Aranda 2012), con forma de esfera comprimida en dos

extremos, de tamaño variable, en promedio de 5 a 9 mm, pero con diámetro máximo de 1 cm (Farías 2011).

Existen pocos estudios que evalúen cuantitativa sistemáticamente para la relación teporingo-hábitat en todo el rango de distribución. El conocimiento de la idoneidad del hábitat es esencial para formular un plan de conservación adecuado para la especie.

Morfología y taxonomía

Romerolagus diazi (Ferrari-Pérez 1893), taxón monoespecífico, pertenece a los mamíferos del orden Lagomorpha, los cuales son de importancia ecológica al constituir la base de las redes tróficas en ecosistemas mexicanos (Hernández 2011). Es el lagormorfo más pequeño de México y se caracteriza por poseer orejas pequeñas y cola no visible (Gaumer 1993). No rebasa los 30 cm de longitud y 600 g de peso. El pelaje es corto y abundante, de color amarillo mezclado con negro en el dorso y en las partes laterales; las partes extremas (punta y base) de los pelos son negras, mientras que la parte media es amarilla (Romero y Velázquez 1994). Es una especie pancrónica (Velázquez *et al.* 2011) y se ha considerado tradicionalmente cercana a las pikas (*Ochotona*). Su apariencia física lo identifica como cualquier otro conejo; sin embargo, sus atributos cromosómicos y reproductivos lo relacionan más con las liebres (*Lepus*) que con los conejos (*Sylvilagus*, Romero y Velázquez 1994).

Como mecanismo de defensa cuando el animal se siente amenazado, realiza con frecuencia vocalizaciones agudas y fuertes para informar a otros individuos sobre la presencia de depredadores y permanecer inmóvil con las orejas distendidas, ésta pauta conductual es exitosa debido a que su coloración se confunde con el suelo. Ningún lepórido vocaliza, a excepción de *R. diazi* y la familia *Ochotona* (Cervantes y Martínez 1996a).

Su dieta incluye pastos, hierbas, arbustos y ocasionalmente partes de árboles; con lo cual regulan poblaciones tanto en el aspecto florístico como en el

estructural y contribuyen a la dispersión de las plantas al transportar sus semillas (Cervantes y Martínez 1996a). Las especies de pastos identificados como su parte de su dieta principal son *Festuca amplissima*, *Festuca rosei*, *Muhlenbergia macroura* y *Stipa ichu* (Cervantes 1980).

Hábitat

Romerolagus diazi se asocia al tipo de vegetación pino-zacatonal (Cervantes *et al.* 1990), con presencia de gramíneas amacolladas que además de formar parte de su alimentación, brindan protección contra depredadores (Trigo *et al.* 2003). Es especialista de hábitat (estenoico, Velázquez 2012), debido a que su sobrevivencia depende de la presencia de pastizales amacollados de los géneros *Mulhenbergia*, *Festuca* y *Jarava* (Velázquez 1994), es abundante en las zonas donde estos pastizales tienen cobertura densa y mayor altura, prácticamente está ausente fuera de tipos de vegetación con condiciones diferentes a las descritas anteriormente (Rizo *et al.* 2015).

En estudios de fauna, los hábitats han sido principalmente diferenciados con base en la vegetación dominante, ya que es considerada como un buen indicador de las características ambientales (Velázquez *et al.* 1996b), es por esto que se ha usado este enfoque para estudiar la relación ecológica del conejo zacatuche y su hábitat.

Distribución

Es una especie endémica de México. Su distribución está restringida a la parte central del Eje Neovolcánico Transversal, principalmente en parches discontinuos de cuatro volcanes (Popocatépetl, Iztaccíhuatl, El Pelado, y Tláloc), que abarcan aproximadamente 386 km² (Velázquez *et al.* 1996b, Fig. 1). Es endémico en parte, por su historia biogeográfica, derivado de *Nekrolagus* y asociado a las liebres durante el Plioceno tardío, y razones paleoecológicas como distribución

geográfica restringida durante el Pleistoceno como respuesta a procesos de expansión-retroceso de frentes de enfriamiento y la subsecuente ocupación del área por géneros oportunistas y eurioicos o ecológicamente versátiles (Velázquez *et al.* 2011).

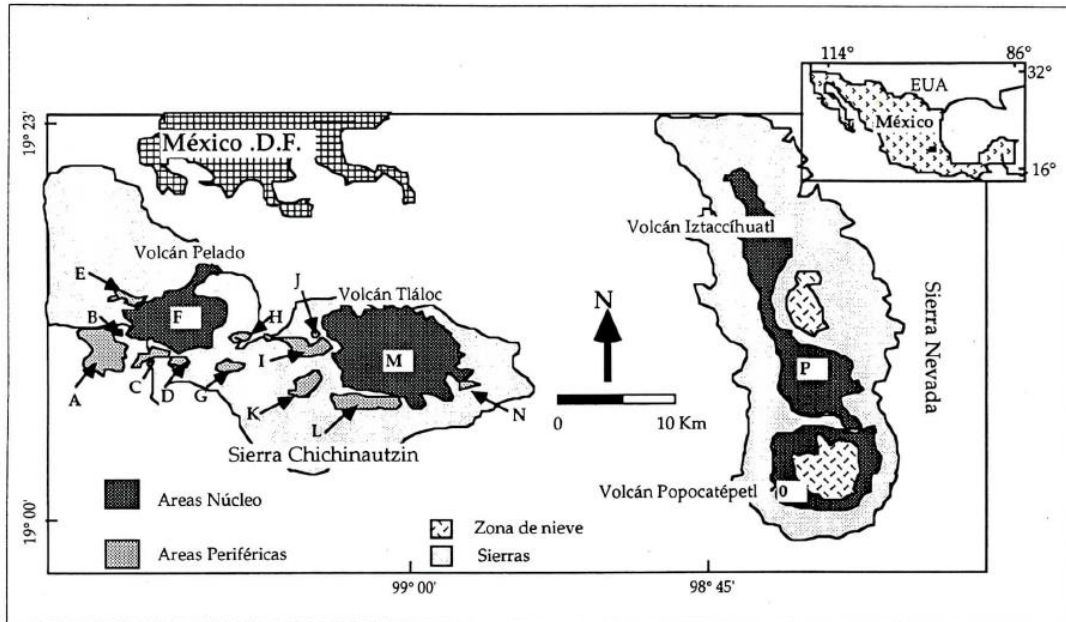


Figura 1. Distribución de *Romerolagus diazi* en México (Velázquez *et al.* 1996b): El área está fragmentada en 16 unidades: cuatro núcleo y 12 periféricas.

Estado de conservación

R. diazi figura en el apéndice I de la CITES, está incluido en la NOM-059-ECOL desde 1994, y catalogado como en peligro de extinción (EN) en la IUCN (SEMARNAT 2010, CITES 2017, IUCN 2017). Es por ello que *R. diazi* es considerado como especie clave y bandera, para denotar la importancia del mismo (Velázquez *et al.* 2011).

Factores que contribuyen a la disminución de las poblaciones del zacatuche son la depredación, disminución y fragmentación del hábitat y amenazas antrópicas como la caza ilegal (Nilsson 2001, Velázquez *et al.* 1996a). En mamíferos pequeños como *R. diazi*, la extinción está asociada a alteraciones del hábitat y, sobre todo, a

la introducción de especies parántricas competidoras o depredadoras (Baena 2008, Crawford *et al.* 2010). En una especie con distribución limitada y sujeta a grandes presiones antropogénicas como *R. diazi*, el efecto de la depredación natural podría ser importante y considerarse como una amenaza más a su supervivencia (Portales *et al.* 1997).

Debido a lo anterior, el teporingo requiere especial atención, a causa de la proximidad de la Ciudad de México (una de las tres ciudades más grandes del mundo, Romero y Velázquez 1994) a las poblaciones del conejo volcánico, incrementa la fragmentación del hábitat, al incrementar áreas urbanizadas, agricultura, silvicultura ilegal e incendios (Ceballos y Navarro 1991, Palomares 2001).

ANTECEDENTES

Acerca de las contribuciones de los tópicos de *Romerolagus diazi*, según Lorenzo *et al.* (2015), sólo hay ocho publicaciones de las cuales las más se refieren a la ecología, seguida de la fisiología; los menos representados son estudios de genética y manejo. Cabe resaltar que de conservación no se tienen publicaciones.

Velázquez *et al.* (1996a), identificaron nueve áreas potenciales de distribución del zacatuche localizadas en el Eje Neovolcánico Transversal, que cubren una superficie de 4 634 km², luego de llevar a cabo un gran número de colectas del conejo zacatuche, la presencia de éste se limitó a sólo dos áreas potenciales: 5) Sierras Chichinautzin y Ajusco y 6) Sierra Nevada, en una extensión de 269 km² (Fig. 2). Aunado a esto, en 1983, no se logró confirmar la presencia de *R. diazi* en el volcán Nevado de Toluca (Matsuzaki *et al.* 1996). Aunque Ceballos *et al.* (1998), publican una población de *R. diazi* en el volcán 4 km SO de Raíces, Nevado de Toluca, estudios recientes han fallado en revelar la presencia de la especie en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, por lo que se ha considerado extirpada en dicha región (Velázquez y Romero 1994, Olascoaga *et al.* 2015).

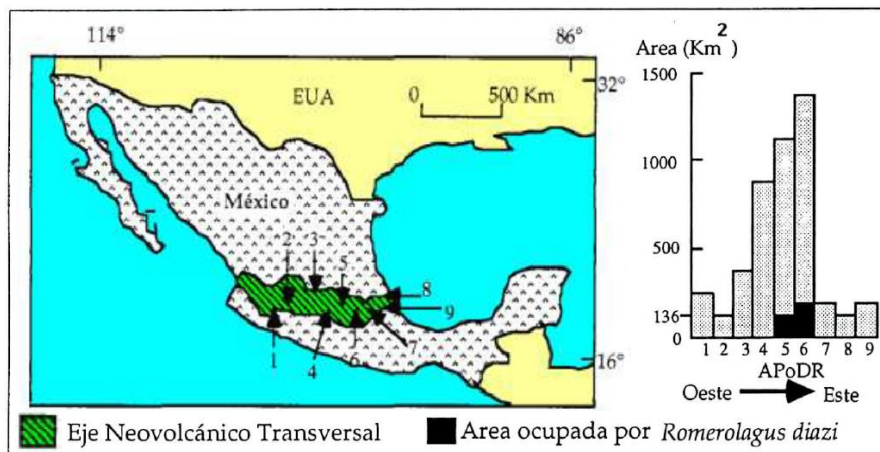


Figura 2. Áreas potenciales de distribución de *R. diazi* (APoDr, Velázquez *et al.* 1996a): 1) Volcán Nevado de Colima, 2) Volcán Tancitaro, 3) Sierra Chincua, 4) Volcán Nevado de Toluca, 5) Sierras Chichinautzin y Ajusco, 6) Sierra Nevada, 7) Volcán Malinche, 8) Volcán Cofre de Perote y 9) Volcán Pico de Orizaba.

Estudios demuestran que la fragmentación del hábitat del zacatuche ha sido causada por las variables: propagación de zonas urbanizadas, agricultura, tala ilegal, incendios, pastoreo y extracción de tierra para jardinería (Hoth *et al.* 1987, Velázquez *et al.* 2011). Además, se ha documentado que enfrenta amenazas importantes derivadas del cambio climático (Anderson *et al.* 2009). Dichos factores de perturbación, han provocado que las poblaciones de *R. diazi* tiendan a restringirse a sitios altos y poco accesibles de los volcanes en que se distribuye (Monroy-Vilchis *et al.* 1999), a niveles altitudinales que van desde los 3000 m (bosque mixto) hasta 3950 m (bosque de pinos de altura, Martínez *et al.* 2012).

Así mismo, se ha demostrado que la abundancia del conejo volcánico varía significativamente entre las comunidades vegetales (Velázquez 1994). En un estudio realizado por Velázquez *et al.* (1996b), Se definieron nueve comunidades de vegetación en el hábitat de *R. diazi*, donde la comunidad *Festuca tolucensis* y *Pinus hartwegii* son las comunidades subalpinas con mayores densidades; grupos de cinco a siete conejos zacatuches se han observado en estas comunidades (Cervantes *et al.* 1990). Indudablemente, el estrato herbáceo está más estrechamente relacionado con el conejo de los volcanes, pero la cobertura del mismo no constituye el factor determinante (Velázquez *et al.* 2011).

Respecto a programas de protección o restauración de hábitat específico para esta especie, no existen; sin embargo, en su área de distribución se encuentran varias Regiones Terrestres Prioritarias (definidas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), por ejemplo: Parque Nacional Cumbres del Ajusco, Parque Nacional Desierto de los Leones, Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl, Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, así como el Parque Nacional Lagunas de Zempoala y el Área de Protección de Flora y Fauna Corredor Biológico Chichinautzin. Dichas áreas colaboran de forma indirecta con la conservación del hábitat de esta especie, al incluir el hábitat específico del zacatuche (Arriaga *et al.* 2000). No obstante, la respuesta esperada de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) parece seguir caminos antagónicos y los resultados

demuestran ser los territorios que experimentan mayores tasas de degradación comparadas con las áreas circunvecinas (Campos y Nepstad 2006).

Aunado a lo anterior, Velázquez (1996), afirma que el hábitat más importante del teporingo es tal vez uno de los más amenazados. Debido a que el hábitat es el indicador apropiado para su estudio, éste puede examinarse a diversas escalas, desde la microescala local (microhábitat) hasta macroescalas regionales y globales (Dunning *et al.* 1992, Morrison *et al.* 2006). Los paisajes heterogéneos son una característica común en la distribución geográfica de la mayoría de las especies de mamíferos, incluso aquellos con una distribución restringida (Feldhammer *et al.* 2007), tal es el caso del teporingo. Este mosaico de condiciones ambientales o tipos de hábitat son necesarios para satisfacer todos los requisitos para la supervivencia de las especies (Hansson 1979). En la escala local, el uso del hábitat se puede estudiar midiendo la densidad de población o la abundancia de especies focales, suponiendo que la abundancia de animales es más alta en hábitats que son más adecuados para sostener poblaciones (Duncan *et al.* 1997). Esto sugiere una distribución unimodal de la densidad de la población a lo largo de un gradiente de tipos de hábitat (Rizo *et al.* 2014).

Ahora bien, la información disponible sobre el uso del hábitat de *R. diazi* se limita a la escala del paisaje (Velázquez *et al.* 1993, Velázquez y Heil 1996). Los únicos estudios realizados a escala local se limitaron al área del volcán Pelado (Fa *et al.* 1992), donde se estudió la densidad poblacional, obteniendo una densidad moderada con 0.4-0.8 letrinas/m² (Velázquez 1994) y en Santa Rita Tlahuapan, Puebla, donde los resultados mostraron baja densidad poblacional, de 2.9 conejos/ha (Vargas *et al.* 2013). Por lo tanto, poco se sabe sobre las relaciones de hábitat de esta especie a escala local o sobre sus poblaciones periféricas.

La distribución agregada de la mayoría de las especies sugiere la existencia de hábitats más favorables que otros. La identificación de los factores determinantes de la distribución agregada de las especies requiere de un enfoque sinecológico, así como el estudio integral de las características del ambiente es complicado, por

lo que se ha utilizado la vegetación como un indicador apropiado del conjunto de éstas (Velázquez *et al.* 1996a).

Otro conflicto al que se enfrenta *R. diazi* es que, al ser especialista en hábitat, no tiene opción de trasladarse a otro (Rizo *et al.* 2014). Aunque el estado actual de las poblaciones silvestres de *R. diazi* es crítico, hasta ahora no se ha informado sobre su tamaño, estructura o demografía poblacional, y el conocimiento de las relaciones ecológicas entre esta especie y su hábitat es escaso.

Granados *et al.* (1980a) fueron los pioneros en México para intentar reproducir al zacatuche en el laboratorio, pero los resultados fueron frecuentes peleas que ocasionaban lastimaduras e incluso la muerte de algunos individuos. En general, el éxito en la reproducción de zacatuches en el laboratorio fue mínimo (Velázquez 1996b). Aún en condiciones de semicautiverio y de laboratorio los logros reproductivos son incipientes, a pesar de su condición de “conejo” (Velázquez *et al.* 2011) y de la existencia de planes de manejo para fomentar su reproducción (Islas 2006).

En 1982 Granados efectuó el primer intento formal de establecimiento de una colonia de reproducción en semicautiverio en el Zoológico de Zacango, Toluca, a pesar de los esfuerzos, no se obtuvo éxito por razones de manejo y administración, murieron los seis zacatuches introducidos (Velázquez 1996b). Posteriormente, en 1984 se instaló una colonia en cautiverio de *R. diazi* en el zoológico de Chapultepec, Ciudad de México, logrando tener éxito, Hoth y Granados (1987), concluyeron que las condiciones clave del éxito obtenido en la reproducción se debieron a los albergues al aire libre y presencia de gramíneas amacolladas. Este éxito estimuló el establecimiento de una nueva colonia de reproducción en 1989, en la Estación de San Cayetano, México, dicha población pereció (Velázquez 1996b), además en 2003, se situó un encierro dentro del zoológico Los Coyotes, ubicado en la misma ciudad (Zedillo 2013). Sin embargo, actualmente el único núcleo en cautiverio conocido se encuentra en el zoológico de Chapultepec, donde Salomón *et al.* (2005) revelan que algunos alelos se han perdido en la colonia de Chapultepec, siendo de mayor variabilidad la población silvestre (de la región de Parres, CDMX).

OBJETIVOS

Identificar variables bióticas y antrópicas que favorecen la potencial presencia de *Romerolagus diazi* en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, México.

Identificar y caracterizar sitios con características apropiadas de hábitat para *R. diazi* en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El Área Natural Protegida Nevado de Toluca con la categoría de Área de Protección de Flora y Fauna desde 01 de octubre del 2013 (Rodríguez y Franco 2003), se localiza dentro del Eje Neovolcánico, se extiende entre los paralelos 18°51'3" - 19°19'03" de latitud norte y los 99°38'54" - 100°09'58" de longitud oeste (Brunett 2010), su superficie abarca 53 590 ha (CONANP 2016). Representa la cuarta montaña más alta del país (Candeau y Franco 2007), con 4 660 m.

Presenta climas frío de altura, semifrío y templado. Entre las comunidades arbóreas, se destacan los bosques de coníferas de pino (*Pinus* sp.), oyamel (*Abies religiosa*), de pino-encino (*Pinus-Quercus*), oyamel-pino (*Abies-Pinus*); bosques de latifoliadas de aile (*Alnus jorullensis*), encino (*Quercus* sp., CONANP 2016) y diversas especies de árboles producto de la reforestación, principalmente cedro (*Cupressus lusitanica*). También se desarrollan comunidades vegetales como pastizales alpinos que constituyen el hábitat de numerosas especies de fauna silvestre (Candeau y Franco 2007). Debido a su cercanía con la zona metropolitana de la ciudad de Toluca, se encuentra sujeta a intensos procesos de deterioro, cambio de uso del suelo y una creciente presión antrópica que repercute en la pérdida de la biodiversidad (Franco *et al.* 2006).

Diseño experimental

Se establecieron 1,807 unidades de muestreo (UM) por encima de la cota altitudinal de los 3,000 m., a partir de la cual se diseñó el método de transectos (Dauber 1995), utilizando las curvas de nivel como líneas de acceso al bosque, con una separación altitudinal de 100 m., debido a la variabilidad climática asociada a la altitud (Mayer y Ott 1991). Las UM fueron circulares de 0.1 ha (17.86 m de radio), distribuidas de forma sistemática sobre los transectos y a una equidistancia de 200

m, garantizando así alcanzar la intensidad mínima de muestreo (recomendada 0.44%, lograda 1.25%) para 12 924 ha (Dauber 1995).

Caracterización del hábitat

Cada UM fue georreferenciada y ubicada en mapas topográficos, se registraron las coordenadas UTM del punto central y altitud (m) con un GPS Rino® 650 Garmin. En cada UM se colectó información de la UM (Anexo 1). Se registró la pendiente y exposición de ladera (°) con una brújula-clinómetro Tandem Suunto (Fig. 3).



Figura 3. Colecta de datos en campo: disposición de los ejes de la UM, medición de pendiente y exposición de ladera.

Se registró el diámetro al corte de todos los tocones recientes (último año), especie o asociación dominante de árboles, porcentaje de ocupación de las especies dominantes herbáceas y arbustivas. Se indicó si había evidencia de un incendio reciente y datos de referencia de la UM (e.g. regeneración natural, reforestación, extracción para madera, barranca, evidencia de *Cratogeomys* spp. y avistamiento de *Crotalus* sp., Anexo1).

Se trazaron dos ejes en dirección al norte-sur y este-oeste con cintas largas de fibra de vidrio TRUPER que cruzaron el punto central de la UM (Fig. 4). Sobre la cruz formada por estos ejes se registró la evidencia de excretas del conejo volcánico (*Romerolagus diazi*) y se realizó toma de fotografías de las excretas con referencia de escala (moneda de un peso m/n). Para obtener las medidas de las excretas, se

realizó el análisis de los registros fotográficos en el programa ImageJ y de acuerdo a lo propuesto por Aranda (2012), que las describe de color café, con forma de esfera comprimida en dos extremos y con un diámetro máximo de 1 cm, se midieron las excretas y clasificándolas de acuerdo al tamaño y forma, se resolvió si era o no rastro de la especie.

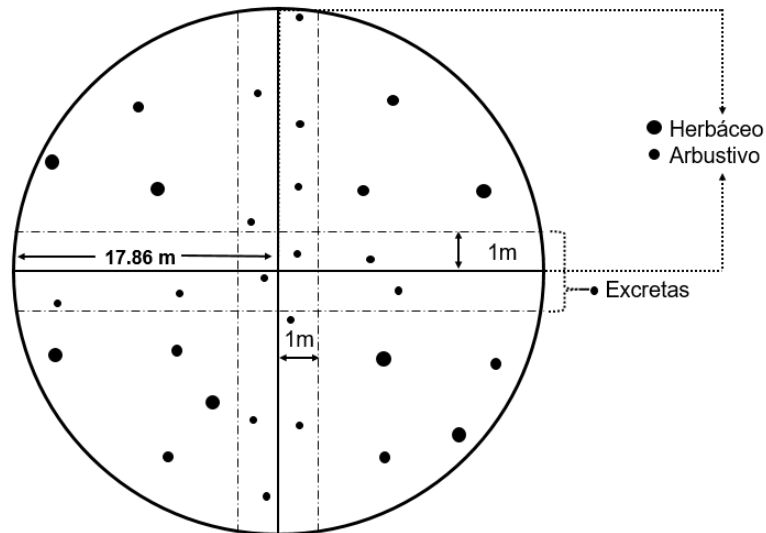


Figura 4. Unidad de medición de 0.1 ha, dentro de la misma, se estimó el porcentaje de cobertura de los estratos herbáceo y arbustivo, además de especies dominantes de cada estrato (arbóreo, herbáceo y arbustivo). A cada lado (1m) se registró la evidencia de excretas de conejo.

Los fustales (≥ 7.5 cm de DN) se inventariaron al interior de toda la UM, se registró la especie, diámetro normal (DN) medido con cinta diamétrica qualitäts bandmaß Richter, y altura (total y comercial). Se consideró bosque denso a aquella superficie que presentara entre 80% y 100% de cobertura de copa en cada sitio, bosque semidenso 50% a 79% y bosque fragmentado $< 50\%$ (Regíl 2005).

Análisis de datos

Los registros de UM con presencia de excretas de *R. diazi* fueron ingresados en una base de datos en formato shapelfile o geodatabase. Esto se realizó en el programa ArcGis. Con base en el mapa de uso de suelo (Regíl 2013), para 12 924

ha de bosque de *Pinus* spp., se digitalizó el mapa del APFFNT con los puntos de UM con presencia de excretas.

Con los datos obtenidos se generó una base en Excel. Las variables cualitativas fueron codificadas con la finalidad de ser analizadas como cuantitativas (Anexo 2). Se trabajó con el software estadístico IBM SPSS versión 20.0, con un nivel de confianza del 95%, para agrupar a las UM según se relacionen entre sí.

Las variables utilizadas para describir un hábitat suelen ser interdependientes y no pueden analizarse individualmente (Cooley y Lohnes 1971). Por lo tanto, determinando *a priori* las UM con presencia de excretas y las UM sin excretas, se realizó un análisis factorial con el método de extracción de componentes principales con rotación varimax. Los componentes principales resultantes tienen la ventaja de ser ortogonales y se consideran variables independientes. Previamente, se comprobó que la matriz de datos fuera la adecuada para dicho análisis con la medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO, Kaiser 1974). En ésta, el resultado debe estar entre 0.5 y 1.0 para asumir que el análisis factorial es adecuado según la matriz de datos. Se aplicó la prueba de esfericidad de Bartlett (Bartlett 1954), en la cual si el nivel crítico es mayor que 0.05, no es posible rechazar la hipótesis nula de esfericidad y, por lo tanto, no se puede asegurar que el modelo factorial es adecuado para explicar los datos. Se retuvieron únicamente los factores cuyos autovalores fueron mayores a 1.0, siguiendo el criterio de Kaiser (1974).

Además, se realizó un análisis de discriminantes con un nivel de confianza del 95%, para identificar las variables que contribuyen en mayor medida a la diferencia de ambos grupos (Pozo y Carrasco 2005). Se utilizaron las variables resultantes de los componentes principales, así como variables descriptivas del hábitat para construir el índice de hábitat potencial de teporingo. Se consideraron como variables independientes a las resultantes del análisis de componentes principales (Cuadro 1) y como variable dependiente se consideró la presencia de excretas en cada unidad.

Cuadro 1. Variables utilizadas en análisis discriminante.

1. Afloramiento rocoso	8. Incendio
2. Altitud	9. Pastoreo
3. Asociación de especie	10. Pendiente
4. Datos de la UM	11. Porcentaje arbustivo
5. Dominancia arbustiva	12. Porcentaje herbáceo
6. Dominancia herbácea	13. Tipo de densidad
7. Exposición	

RESULTADOS

De un total de 1807 unidades de medición que se evaluaron durante el 22 de Abril de 2016 al 05 de Julio de 2017, 118 UM evidenciaron excretas del orden Lagomorpha (Fig. 5) y la presencia de la especie estudiada se limitó a 41 UM, es decir, sólo el 2.27% de las UM presentaron excretas atribuibles a *Romerolagus diazi*.



Figura 5. Ejemplo de excretas de lagomorfos encontradas en el APFFNT.

De las 41 UM con excretas de *R. diazi*, 36 UM fueron ubicadas dentro de bosque de *Pinus* spp. (Fig. 6), de las cuales, 29 se ubicaron en zonas fragmentadas. Cabe mencionar que, dentro de una UM, el día 03 de Diciembre de 2016, se logró el avistamiento de un ejemplar de *R. diazi*, por miembros del equipo de alta montaña (Dr. Angel R. Endara Agramont, Geógr. Santiago Vázquez Lozada y Alma A. Luna Gil).

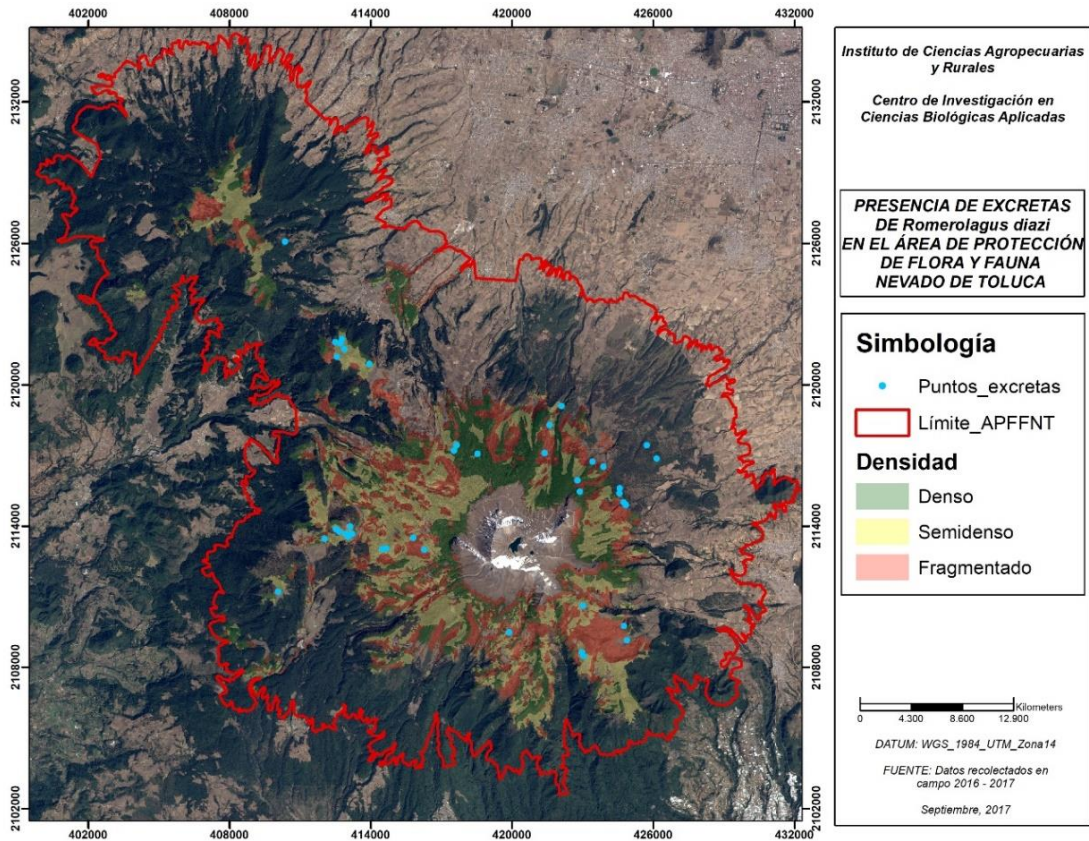


Figura 6. Referencia espacial de excretas correspondientes a *Romerolagus diazi* en el APFFNT.

Las 41 UM con evidencia de *R. diazi* se identificaron dentro de un rango altitudinal que va desde 3305 hasta 3874 m (Fig. 7), sin embargo, se observó una mayor presencia a los 3500 y 3700 m de altitud.

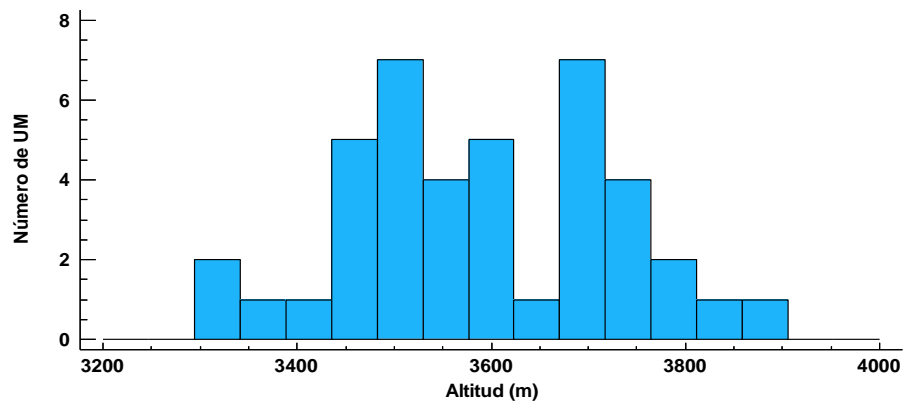


Figura 7. Histograma de frecuencia de *Romerolagus diazi* acorde con la altitud.

Siete especies arbóreas dominantes fueron registradas: *Pinus hartwegii*, *Alnus jorullensis*, *Cupressus lusitanica*, *Abies religiosa*, *Pinus montezumae*, *Pinus patula* y *Pinus pseudostrobus*. Sin embargo, la presencia de excretas de zacatuche se registró en cuatro de ellas (Cuadro 2), siendo más frecuentes en bosques de *P. hartwegii* con un total de 36 UM, seguida de *A. jorullensis* con tres UM.

De los siete géneros dominantes en estrato herbáceo, tres estuvieron presentes en UM con evidencia de excretas: *Festuca*, *Muhlenbergia* y *Calamagrostis*. Respecto al estrato arbustivo, fueron identificadas y enlistadas 16 especies. *Romerolagus diazi* se asoció a tan sólo seis de las mismas (Cuadro 2), en orden de frecuencia: *Senecio cinerarioides*, *Lupinus* spp, *Barkleyantus salicifolius*, *Symphoricarpos microphyllus*, *Acaena elongata* y *Baccharis conferta*, además, ocho UM no presentaron cobertura arbustiva (estrato rasante).

Cuadro 2. Frecuencias de especie/género dominante para los estratos: arbóreo, herbáceo y arbustivo.

Estrato	Especie/género dominante	Frecuencia en UM
Arbóreo	<i>P. hartwegii</i>	36
	<i>A. jorullensis</i>	3
	<i>C. lusitanica</i>	1
	<i>P. pseudostrobus</i>	1
Herbáceo	<i>Festuca</i>	23
	<i>Muhlenbergia</i>	16
	<i>Calamagrostis</i>	2
Arbustivo	<i>S. cinerarioides</i>	11
	<i>Lupinus</i> spp	10
	<i>B. salicifolius</i>	9
	<i>S. microphyllus</i>	1
	<i>A. elongata</i>	1
	<i>B. conferta</i>	1
	Estrato rasante*	8

Análisis factorial

- Sin excretas:

Considerando las 17 variables, la prueba de Kaiser-Meyer-Olkin (Kaiser 1974) es menor a .5 por lo que, eliminando las cuatro variables no relacionadas (número de árboles caídos y muertos, tocones y área basal (AB)), según la revisión de literatura, el valor de extracción tiende a subir (Anexo 3), obteniendo así la medida de adecuación muestral de KMO y la prueba de Bartlett (Cuadro 3, Bartlett 1954).

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.		.594
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	1521.829
	gl	78
	Sig.	.000

Al analizar los componentes principales de las 13 variables, se redujeron a cinco componentes con los cuales se explica el 53.17% del total de la varianza (Anexo 4), en cada uno de ellos se ubicaron dos variables, teniendo en total 10 variables (Cuadro 4).

	Componente				
	1	2	3	4	5
Altitud	.670				
Asociación de especie	-.753				
Afloramiento rocoso		.611			
Pendiente		.734			
Dominancia arbustiva			.734		
Porcentaje arbustivo			.799		
Exposición				.706	
Pastoreo				-.508	
Dominancia herbácea					.722
Incendio					-.514

- Con excretas:

Para el grupo de sitios de muestreo con excretas se utilizaron las mismas 13 variables ya que el valor de extracción (Anexo 5) fue relativamente alto. El valor de KMO fue mayor a 0.5 (Cuadro 5), lo cual indicó que es posible factorizar las variables originales de forma eficiente. La prueba de esfericidad de Bartlett señaló que la matriz de correlaciones no es una matriz de identidad, esto sugirió que el modelo factorial es adecuado.

Cuadro 5. KMO y prueba de Bartlett (con excretas).

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.		.542
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	102.890
	gl	78
	Sig.	.031

En comparación con el grupo anterior, los resultados arrojaron 6 componentes que explican el 72.91% de la varianza total de las 13 variables analizadas (Anexo 6), en este caso, las variables se distribuyen de forma desigual en los componentes (Cuadro 6).

Cuadro 6. Matriz de componentes rotados (con excretas).

	Componente					
	1	2	3	4	5	6
Altitud	-.786					
Asociación de especie	.766					
Porcentaje arbustivo	.747					
Exposición		.608				
Porcentaje herbáceo		.663				
Tipo de densidad		-.840				
Incendio			.871			
Afloramiento rocoso				.740		
Pastoreo				.725		
Dominancia herbácea					.669	
Observaciones					.794	
Dominancia arbustiva						.928

Análisis discriminante

El supuesto de igualdad de matrices de varianza-covarianza para los dos grupos se comprobó con la prueba de *M de Box* (Cuadro 7). Los resultados fueron obtenidos del estadístico de contraste $M= 71.25$ y su transformación en un estadístico $F = 11.55$ con una probabilidad asociada $p= 0,00$. El resultado de la prueba permitió rechazar la hipótesis de igualdad de matrices de varianzas-covarianzas ($p<0.05$) y, por tanto, concluir que los grupos son variables entre sí (Johnson 2000).

Cuadro 7. Resultados de la prueba de Box: Contrasta la hipótesis nula de que las matrices de covarianzas poblacionales son iguales.

M de Box		71.25
F	Aprox.	11.55
	gl1	6.00
	gl2	26020.81
	Sig.	0.00

Debido a que el valor del estadístico *Lambda de Wilks* disminuyó para cada caso, significó que, conforme se fueron incorporando variables al modelo, los grupos fueron estando cada vez menos solapados. En la columna F exacta se muestra el valor transformado de la *Lambda de Wilks* con la respectiva significancia para cada variable (Pozo y Carrasco 2005, Cuadro 8). Según el valor de *Lambda de Wilks*, existen diferencias significativas, el análisis de chi cuadrado (27.92) arrojó un nivel de significancia elevado para la primera de las funciones discriminantes ($p<.01$).

Cuadro 8. Variables introducidas/excluidas: En cada paso se introduce la variable que minimiza la lambda de Wilks global; la F parcial mínima para entrar es 3.84; la F parcial máxima para salir es 2.71.

Paso	Introducidas	Lambda de Wilks							
		Estadístico	gl1	gl2	gl3	F exacta			
						Estadístico	gl1	gl2	Sig.
1	Afloramiento rocoso	.994	1	1	1805	11.528	1	1805	.001
2	Pastoreo	.989	2	1	1805	10.417	2	1804	.000
3	Porcentaje herbáceo	.985	3	1	1805	9.375	3	1803	.000

De las variables resultantes, la cobertura del estrato fue calculada en porcentaje para definir la estructura de la vegetación, se obtuvo la media en sitios con excretas con un valor de 74.85%, mientras que las UM sin excretas arrojaron una media de 61.77% (Cuadro 9), siendo considerablemente diferentes entre ambos grupos.

Cuadro 9. Análisis estadístico del porcentaje herbáceo entre UM con evidencia de excretas y UM sin excretas.

	Con excretas		Sin excretas	
	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar
Porcentaje herbáceo	74.85	21.86	61.77	28.84

Debido a que las variables afloramiento rocoso y pastoreo son cualitativas, se calculó el porcentaje de las UM que presentaron o no, la evidencia de dichas variables (Cuadro 10).

Cuadro 10. Porcentaje de las variables afloramiento rocoso y pastoreo entre UM con evidencia de excretas y UM sin excretas.

	Variable (cualitativa)	Porcentaje (%)
Con excretas	Afloramiento rocoso	73.2
	Sin afloramiento rocoso	26.9
	Pastoreo	2.4
	Sin pastoreo	97.6
Sin excretas	Afloramiento rocoso	10.3
	Sin afloramiento rocoso	89.7
	Pastoreo	25.1
	Sin pastoreo	74.9

DISCUSIÓN

En 1987 ya era bastante notoria la desaparición de zacatuches de algunas zonas con registros anteriores, como lo es el volcán Nevado de Toluca (Velázquez y Romero 1994, Velázquez 1996a). Debido a la ubicación geográfica de esta ANP, funge como punto de encuentro y contacto entre las especies neárticas y neotropicales, tanto de flora como de fauna que, en conjunto, con las características físicas del área llegan a formar una riqueza de ecosistemas propicia para el desarrollo de la vida y de los ciclos naturales (CONANP 2016). Por lo anterior, durante el desarrollo del estudio, se logró evidenciar la presencia de *Romerolagus diazi* en el 2.27% de los sitios muestreados, esto con presencia de excretas, ya que, mediante el conteo de las mismas se pueden inferir estimaciones fiables de la abundancia de conejo zacatuche (Palomares 2001).

Dicho número fue relativamente bajo, esto debido a la constante presión a la que está sujeta la especie (Velázquez *et al.* 1994). Sin embargo, estas UM indican un hábitat óptimo para la especie, según datos obtenidos en campo, se asocian a ambientes difíciles de recorrer. Aunque Velázquez (1996a), consideró a los caminos, zonas de cultivo y asentamientos humanos como barreras infranqueables para *R. diazi*, en el presente estudio, dichas barreras parecieron no afectar a la presencia/ausencia del mismo, esto debido al elevado número de datos de referencia de cada UM, llegando a tener hasta 45 asociaciones de los mismos (Anexo 2).

De acuerdo al análisis de componentes principales obtenidos, se logró la reducción de variables, esto indica que la mayoría de las variables analizadas del hábitat en el que se encuentra *Romerolagus diazi* son interdependientes. Aunque, tres variables involucradas en el análisis son las que explicaron la mayor varianza y que definen la presencia/ausencia de la especie: 1) afloramiento rocoso (evidencia), 2) porcentaje de cobertura herbácea (por encima del 70%) explican que la especie coexista en dichos ambientes; por el contrario, 3) la variable pastoreo (avistamiento y presencia de excretas) indica la ausencia del conejo volcánico. Lo anterior

coincide con lo observado por Hunter y Cresswell (2015), la especie es menos abundante en zonas con caza y pastoreo de ganado y más abundante en hábitats con mayor porcentaje de cobertura de zacatón y gramíneas cortas. Esto coincide con los resultados obtenidos, ya que los sitios con presencia de excretas de *R. diazi* en este estudio presentan un porcentaje de cobertura herbácea mayor al 70%, con especie dominante el género *Festuca* (gramínea corta). Contrariamente, Escutia (2011), realizó una predicción de distribución de la especie en el APFFNT, donde las variables que obedecen al modelo de presencia de *R. diazi* fueron temperatura, altitud, porcentaje de plantas siempre verdes y precipitación.

En otro estudio (Velázquez *et al.* 1996b), se afirma que el estrato herbáceo es el factor más relacionado con el zacatuche, pero la cobertura del mismo no es el factor determinante. Sin embargo, los resultados en esta investigación demostraron lo contrario, ya que el porcentaje de cobertura del estrato herbáceo, en conjunto con el afloramiento rocoso, son los que determinan la presencia de *R. diazi*. Esto se debe a que la cobertura herbácea brinda protección y/o refugio contra depredadores, además de contribuir en su dieta (Trigo *et al.* 2003).

El presente trabajo no concuerda con lo reportado por Velázquez (1996a), quien manifiesta que aparentemente es posible llevar a cabo ciertas prácticas de utilización de recursos naturales (e. g., pastoreo excesivo con quemas controladas) sin producir gran efecto sobre la distribución de *R. diazi*. Los resultados evidenciaron al pastoreo como variable directamente relacionada con la ausencia de *R. diazi*, la especie es altamente vulnerable a dicha actividad antrópica, esto probablemente a la presencia de perros ferales como cuidadores de ganado y, por lo tanto, como cazadores de especies nativas, entre éstas *R. diazi*. Al respecto, Obieta y Sarukhán (1981), encontraron que las áreas con pastoreo muestran gramíneas de menor tamaño y una mayor proporción de suelo descubierto, lo cual coincide con lo ya mencionado: el zacatuche está ausente en sitios con éstas características.

Velázquez (1996a), observó que el pastoreo intensivo va acompañado de quemas frecuentes, con el fin de incrementar la calidad y cantidad de pastos que sirven de alimento para el ganado. En el APFFNT, los incendios son provocados en

un 80% por el hombre (Probosque 2012); el principal tipo de incendio en esta zona es de tipo superficial o rastrero (CONANP 2016), cuyos daños más severos se reflejan sobre la vegetación de zacatón, al estrato bajo y al renuevo del arbolado, Hunter y Cresswell (2015), afirman que la quema controlada tiene un efecto positivo en la presencia del conejo volcánico, debido a que la especie selecciona las hojas jóvenes suaves y verdes que poseen poco sílice y oxalatos (López y Rodríguez 1988), además, las herbáceas tienen mayor probabilidad de invadir el suelo descubierto luego de ocurrido un incendio (López *et al.* 1996), En el APFFNT la incidencia de incendios recientes no fue determinante en la presencia de *R. diazi*, sin embargo, en sitios perturbados por incendios forestales, prolifera *Lupinus montanus* (Endara 2007), es por esto que *Lupinus* spp. resultó ser la segunda especie más frecuente en asociación con el zacatuche, lo cual indica que en algún momento hubo incendio en dichos sitios.

Un estudio microhistológico de excretas de *R. diazi* conducido por Cervantes y Martínez (1992), reveló que aproximadamente en el 89% de las excretas, *M. macroura* estaba presente, por tanto, concluyeron que fue el componente principal de la dieta. Sin embargo, esta afirmación puede ser cuestionada debido a la naturaleza y composición química de la gramínea, ya que presenta un contenido alto de paredes celulares y de lignina, bajo contenido de proteína y baja digestibilidad (Martínez *et al.* 2012). Aunado a esto y, como ya se había mencionado con anterioridad, *Festuca* resultó ser el género más abundante y que parece favorecer la presencia de *R. diazi*, seguido de *Muhlenbergia* y muy ocasionalmente de *Calamagrostis*, lo cual concuerda con Velázquez *et al.* (1996b), donde determinaron que el tipo de hábitat más frecuente está formado por *Pinus* sp. y *Festuca toluensis*, el cual presenta mayores perturbaciones antrópicas, como la fragmentación y la reducción del hábitat, convirtiéndose en la principal amenaza de *R. diazi*.

Una de las variables que presenta una estrecha relación es el afloramiento rocoso (73.2 % de UM con excretas), lo cual concuerda con Cervantes y Martínez (1996a), quienes afirman que el conejo zacatuche usa cualquier tipo de refugio, por

ejemplo: troncos, hoyos y ranuras entre las rocas y montículos pedregosos. Es importante subrayar que, de acuerdo a lo observado en campo, mayormente se encuentran en peñas.

De acuerdo a lo observado durante la fase de trabajo de campo, se observó la presencia de otras especies en UM con excretas de zacatuche, tales como serpientes de cascabel (*Crotalus triseriatus*), lagartijas (*Sceloporus aeneus*, *S. bicantalis*, *Barisia imbricata*), dos especies simpátricas de conejos (*Sylvilagus floridanus* y *S. cunicularius*), por lo que sugiere la posibilidad de que *R. diazi* se asocie con éstas. Además, Cervantes y Martínez (1996b) mencionan que las madrigueras de tuza (*Pappogeomys merriami*) son utilizadas por el zacatuche.

Esta especie se encuentra en varios niveles altitudinales que van desde los 3000 m (bosque mixto) hasta 3950 m (bosque de pinos de altura, Martínez *et al.* 2012). De acuerdo con el gráfico de dispersión altitudinal obtenido, *R. diazi* se encuentra desde los 3305 hasta los 3874 m, sin embargo, tiene una mayor acentuación entre los 3500 a 3700 m de altitud, lo cual concuerda con Hunter y Cresswell (2015) que refiere a la altitud desde 3400 m a 4000 m.

Pinus hartwegii se desarrolla entre los 3000 y 4000 m, conformando los bosques de alta montaña de México (Rzedowski 1978, Endara *et al.* 2013). Es de suponer que, la altitud a la que se registró *R. diazi* y la especie arbórea dominante mantengan una estrecha relación y, como se esperaba, *Pinus hartwegii* se posicionó como la especie arbórea dominante y que se asocia el zacatuche. Endara *et al.* (2013), refiere que las áreas con mayor dinámica de deterioro son los bosques de *Pinus spp.*, poniendo al hábitat de *R. diazi* en condiciones desfavorables.

En conformidad con Hunter y Cresswell (2015) y Olascoaga *et al.* (2015), la presencia de la especie se asocia a bosques abiertos, lo cual explica que la evidencia de presencia de la especie en la zona de estudio, se haya registrado en bosques fragmentados.

Se estima que la población actual de *R. diazi* es de 5000 individuos, distribuidos en un área de 386.5 km² (Olascoaga *et al.* 2015), se considera un área

de distribución fragmentada en 16 zonas en los estados de Puebla, México y Ciudad de México, con cuatro áreas núcleo: Sierra Ajusco-Chichinautzin (volcán Tláloc y Pelado) y Sierra Nevada (Popocatepetl e Iztaccíhuatl). Aunque, el último registro poco sistemático en el Área de Protección Flora y Fauna Nevado de Toluca fue en 1998, (Ceballos *et al.* 1998), Velázquez *et al.* (1996a) y Olascoaga *et al.* (2015) mencionan que el zacatuche no se encuentra en la misma. No obstante, en el presente estudio se confirma la presencia de teporingo en la zona con evidencia de excretas, por lo que, se hace extensiva el área de distribución ya mencionada, para el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca.

Las UM en el APFFNT con las características apropiadas de hábitat, coinciden con lo reportado por Velázquez *et al.* (1996b), Hunter y Cresswell (2015) y Cervantes y Martínez (1996b), que además, presentan las variables determinantes de la potencial presencia de la especie, por lo que son sitios potenciales para la reintroducción de *R. diazi*, dicha reintroducción puede conllevar una restauración (Espunyes 2011) y conservación de hábitat y ecosistemas.

CONCLUSIONES

Con tan sólo el 2.27% de UM (41), se evidenció la presencia de *Romerolagus diazi* mediante excretas en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, se asocia a la comunidad: a) *Pinus hartwegii*, como estrato arbóreo dominante, - b) *Festuca* spp., como estrato herbáceo dominante, y - c) *Senecio cinerarioides* como estrato arbustivo dominante; en bosques fragmentados y a una altitud de 3305 a 3874 m.

Las variables bióticas que favorecen la presencia de *R. diazi* en el APFFNT son: porcentaje herbáceo y afloramiento rocoso. El porcentaje herbáceo por encima del 70% de cobertura de suelo, mientras que el afloramiento rocoso se limita a la presencia del mismo. En contraste, se identificó al pastoreo de ganado como la variable antrópica que determina la ausencia de la especie.

RECOMENDACIONES

Está claro que una evaluación integral de especies requeriría datos que actualmente no están disponibles para el zacatuche en México, tales como el estado demográfico de la especie y disponibilidad de hábitat. El método llevado a cabo de manera exhaustiva, permitió realizar un análisis robusto sobre características del hábitat para el zacatuche, además de identificar posibles zonas de liberación y zonas de conservación de la especie.

Hay implicaciones muy importantes en las aportaciones del presente estudio para la conservación de la especie, por lo que se recomienda continuar con la investigación futura en dicha zona en las áreas ya identificadas, en estudios genéticos al ser poblaciones aisladas en un sistema volcánico diferente a la distribución registrada, monitoreo a través de cámaras trampa y generar información referente a la dinámica de poblaciones y conservación *ex situ*; además de conocer las interacciones que mantiene con su entorno. En cuanto a la zona de estudio concierne, el deterioro de los ecosistemas es demasiado avanzado, esto hace impostergable que se tomen serias medidas de conservación.

LITERATURA CITADA

- Anderson, B., H. Akçakaya, M. Araújo, D. Fordham, M. Martinez, W. Thuiller y B. Brook. (2009). Dynamics of range margins for metapopulations under climate change. *Proceedings of the Royal Society B*, 276: 1415–1420.
- Aranda, S. (2000). Huellas y otros rastros de los mamíferos grandes y medianos de México. Instituto de Ecología. Xalapa, México.
- Aranda, S. (2012). Manual para el rastreo de mamíferos silvestres de México. CONABIO. México.
- Arriaga, L., J. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa. (2000). Regiones terrestres prioritarias de México. CONABIO. México.
- Baena, L. y G. Halffter. (2008). Extinción de especies. En: Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO. México. 263-282.
- Bartlett, M. S. (1954). A note on multiplying factors for various chi-squared approximations. *Journal of the Royal Statistical Society*, 16: 296-298.
- Brunett, E., J. Baró, E. Cadena y M. Esteller. (2010). Pago por servicios ambientales hidrológicos: caso de estudio Parque Nacional del Nevado de Toluca, México. *Ciencia Ergo Sum* 17(3): 286-294.
- Campos, M. T. y D. C. Nepstad. (2006). Smallholders, the Amazon's new conservationists. *Conservation Biology*, 20:1553-1556.
- Candeau, D. y M. Franco. (2007). Dinámica y condiciones de vida de la población del Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT) en la generación de presión a los ecosistemas circundantes y de impactos ambientales a través de un sistema de información geográfica. *Investigaciones Geográficas (Mx)*: 44-68.
- Ceballos, G. y D. Navarro. (1991). Diversity and conservation of mexican mammals. En: Latin American mammalogy: History, biodiversity, and conservation (M. A. Mares y D. J. Schmidly, pp. 167-198). University of Oklahoma Press, Norman.
- Ceballos, G., B. Vieyra y J. Ramírez. (1998). A recent record of the volcano rabbit (*Romerolagus diazi*) from the Nevado de Toluca, State of México. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 3: 149-150.
- Cervantes, F. (1980). *Principales características biológicas del conejo de los volcanes Romerolagus diazi Ferrari Pérez 1893 (Mammalia: Lagomorpha)*. (Tesis de licenciatura). Facultad de Ciencias. UNAM. México, D. F.

- Cervantes, F., C. Lorenzo y R. Hoffmann. (1990). *Romerolagus diazi*. *Mammalian Species*, 360: 1-7.
- Cervantes, F. y J. Martínez. (1992). Food habits of the rabbit *Romerolagus diazi* (Leporidae) in central Mexico. Departamento de Zoología, UNAM. México DF. *Journal of mammalogy*, 73 (4): 830-834.
- Cervantes, F. y J. Martínez. (1996a). Historia natural del conejo zacatuche o teporingo (*Romerolagus diazi*). pp: 29-40. En: Velázquez, A., F. J. Romero, y P. López. (Comp.), *Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat*. D.F, México: Fondo de Cultura Económica-UNAM.
- Cervantes, F. y J. Martínez. (1996b). Morfología, taxonomía y sistemática del conejo zacatuche. pp: 41-47. En: Velázquez, A., F. J. Romero, y P. López. (Comp.), *Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat*. D.F, México: Fondo de Cultura Económica-UNAM.
- CITES (Convención Internacional sobre el Comercio de Especies Amenazadas de Fauna y Flora). (2017). CITES-resources/species. Consultada 2017, en: <http://www.cites.org/eng/resources/species.html>.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2016). Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca.
- Cooley, W. W. y P. R. Lohnes. (1971). *Multivariate Data Analysis*. J. Wiley and Sons, New York, USA.
- Crawford, J., R. Anthony, J. Forbes y G. Lorton. (2010). Survival and causes of mortality for pygmy rabbits (*Brachylagus idahoensis*) in Oregon and Nevada. *Journal of Mammalogy*. 91: 838-847.
- Dauber, E. (1995). Guía práctica y teórica para el diseño de un inventario forestal de reconocimiento. BOLFOR.
- Duncan, R. P., K. M. Colhoun y B. D. Foran. (1997). The distribution and abundance of *Hieracium* species (hawk weeds) in the dry grasslands of Canterbury and Otago. New Zealand. *Journal of Ecology*, 21: 51-62.
- Dunning, B., B. Danielson y H. Pullian. (1992). Ecological processes that affect populations in complex landscapes. *Oikos*, 65: 169-175.
- Endara, A. (2007). *Estructura forestal de Pinus hartwegii en el Parque Nacional Nevado de Toluca*. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma del Estado de México. México.

- Endara, A., R. Calderón, G. Nava y M. Franco. (2013). Analysis of fragmentation processes in high-mountain forests of the centre of Mexico. *American Journal of Plant Sciences*, 4: 697-704.
- Escutia, P. (2011). *Hábitat potencial de Romerolagus diazi en el Volcán Nevado de Toluca*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- Espunyes, N. (2011). Reintroducción de especies amenazadas: problemáticas y recomendaciones. UAB-IUCN.
- Fa, J. E., F. J. Romero y P. López. (1992). Habitat use by parapatric rabbits in a Mexican high-altitude grassland system. *Journal of Applied Ecology*, 29: 357–370.
- Farías, G. (2011). Conceptos ecológicos, métodos y técnicas para la conservación de conejos y liebres. Temas sobre conservación de vertebrados silvestres en México. 229-248.
- Feldhammer, G. A., L. C. Drickamer, S. H. Vessey y J. F. Merritt. (2007). *Mammalogy: Adaptation, diversity and ecology*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, USA.
- Franco, M., R. García, H. Hugo, G. Esquivel y B. Nava. (2006). Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México, en el periodo 1972-2000. *Investigaciones geográficas*, (61): 38-57.
- Galindo, L. y A. Velázquez. (1999). Recomendaciones para la conservación del zacatuche. pp: 147-157. En: Velázquez, A., F. J. Romero y P. López. (Comp.), *Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat*. D.F, México: Fondo de Cultura Económica-UNAM.
- Gaumer, G. (1993). Monografía sobre el *Lagomys diazi* Ferrari Pérez. Dirección general de agricultura, departamento de exploración biológica, México. 4: 1-51.
- Granados, H., R. Zulbarán y D. Juárez. (1980a). Estudios sobre la biología del conejo de los volcanes. II Periodos de reproducción de los animales silvestres en su hábitat natural. Memoria del XXII Congreso Nacional de Fisiología. Congreso llevado a cabo en Querétaro, México.
- Hansson, L. (1979). On the importance of landscape heterogeneity in northern regions for the breeding population densities of homeotherms: a general hypothesis. *Oikos*, 33: 182–189.
- Hernández, A. (2011). *Características y uso de letrinas del conejo zacatuche (Romerolagus diazi) en el volcán Popocatepetl*. (Tesis de licenciatura). Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México, D. F.

- Hoth, J. y H. Granados. (1987). A preliminary report on the breeding of the volcano rabbit *Romerolagus diazi* at the Chapultepec Zoo, Mexico City. *International Zoo Yearbook*, 26: 261-265.
- Hoth, J., A. Velázquez, F. Romero, L. Leon, M. Aranda y D. Bell. (1987). The volcano rabbit: a shrinking distribution and a threatened habitat. *Oryx*, 21: 85-91.
- Hunter, H. y W. Cresswell (2015). Factors affecting the distribution and abundance of the endangered volcano rabbit *Romerolagus diazi* on the Iztaccíhuatl volcano, Mexico. *Oryx*, 49: 366-375.
- Islas, M. (2006). *Plan de manejo del zacatuche (Romerolagus diazi) para fomentar su reproducción*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Chapingo.
- IUCN. (2017). *The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2017-1*. <<http://www.iucnredlist.org>>. Descargado el 20 de agosto de 2017.
- James, F. C. y C. E. McCulloch. (1990). Multivariate analysis in ecology and systematics: panacea or Pandora's Box?. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21: 129-166.
- Johnson, E. (2000). Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. *International Thomson Editores*, 240.
- Kaiser, H. F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39: 31-36.
- López, P. y T. Rodríguez. (1988). Las especies forrajeras y el proceso ganadero en la zona boscosa del Distrito Federal. XI Conferencia Anual de Etnobiología, Sociedad de Etnobiología, México, D. F.
- López, P., J. Romero y A. Velázquez. (1996). Las actividades humanas y su impacto en el hábitat del conejo zacatuche. pp: 119-131. En: Velázquez, A., F. J. Romero y P. López. (Comp.), *Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat*. D.F, México: Fondo de Cultura Económica-UNAM.
- Lorenzo, C., P. Rioja y R. Carrillo. (2015). State of knowledge and conservation of endangered and critically endangered lagomorphs worldwide. *Therya*. 6 (1): 11-30.
- Martínez, G. J., G. M. Martínez, J. A. Carbajal, L. T. Arámbula, T. T. Esqueda, R. R. Lara, y P. H. García. (2012). Composición de la dieta y capacidad de carga del hábitat del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*) en México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18: 423-434.
- Matsuzaki, T., M. Kamiya, H. Suzuki, T. Nomura y A. Velázquez. (1996). Reproducción en el laboratorio del conejo zacatuche. pp: 51-66. En: Velázquez, A., F. J. Romero y P.

- López. (Comp.), *Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat*. D.F, México: Fondo de Cultura Económica-UNAM.
- Mayer, H. y E. Ott. (1991). *Gebirgswaldabau-Schutzwaldpflege: ein waldbaulicher Beitrag zur Landschaftsökologie und zum Umweltschutz (Silviculture in Mountain forest-Management of protection forest: A silvicultural contribution to landscape ecology and environmental protection)*, 2nd revised edn. Gustav Fischer, Stuttgart.
- Monroy-Vilchis, O., H. Rangel-Cordero, M. Aranda, A. Velázquez y J. Romero. (1999). Los mamíferos de hábitat templados del sur de la Cuenca de México. pp: 142-157. En: Velázquez, A. y J. Romero (Comp.), *Biodiversidad de la región de montaña del sur de la Cuenca de México: bases para el ordenamiento ecológico*. México, D.F: UAM-SEMARNAT.
- Morrison, M.L., B. G. Marcot y R. W. Mannan (eds). (2006). *Wildlife–Habitat Relationships: Concepts and Applications*. Island Press, Washington, DC, USA.
- Nilsson, P. (2001). Predator behavior and prey density: evaluating density-dependent intraspecific interactions on predator functional responses. *Journal of Animal Ecology*, 70: 14-19.
- Obieta, M. C. y J. Sarukhán (1981). Estructura y composición de la vegetación herbácea de un bosque uniespecífico de *Pinus hartwegii*. *Bol. Soc. Bot. Mex.*, 41: 75-125.
- Olascoaga, E. A., I. A. Córdova, R. A. Rivera, M. S. Soto y P. J. Olivares. (2015). Rabbit zacatuche (*Romerolagus diazi*): an endemic species of the valley of Mexico. *International Journal of Information Research and Review*, 2(3): 504-507.
- Palomares, F. (2001). Comparison of 3 methods to estimate rabbit abundance in a Mediterranean environment. *Wildlife Society Bulletin*, 29: 578–585.
- Portales, G., P. Reyes, H. Rangel, A. Velázquez, P. Miller, S. Ellis y A. Smith. (1997). International Workshop for the Conservation of Endangered Mexican Lagomorphs. IUCN/SSC Lagomorph Specialist Group and IUCN/SSC Conservation Breeding Specialist Group. Apple Valley, EE. UU.
- Pozo, M. y G. Carrasco. (2005). Aplicación del análisis discriminante a un conjunto de datos vinícolas mediante el paquete estadístico SPSS v10. *Tecnociencia*, 7(1): 7-21.
- Probosque (Protectora de Bosques del Estado de México). (2012). Reporte de incendios. Estado de México, México.
- Regil, H. (2005). *Análisis del cambio de uso de suelo y vegetación para la obtención de la dinámica de perturbación-recuperación de las zonas forestales en el Parque*

- Nacional Nevado de Toluca 1972-2000*. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- Regil, H. (2013). *Pérdida y recuperación derivadas de la dinámica de cambio de uso de suelo en el Parque Nacional Nevado de Toluca en el periodo 2000-2009*. (Tesis de Doctorado). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- Rizo, A., J. Guerrero, A. Lara y C. Valdespino. (2014). Physiological stress in volcano rabbit *Romerolagus diazi* populations inhabiting contrasting zones at the Corredor Biológico Chichinautzin, Mexico. *Mammalian Biology-Zeitschrift für Säugetierkunde*, 79:357-361.
- Rizo, A., J. Guerrero, M. Mihart y A. Romero. (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.
- Rodríguez, B. y M. Franco. (2003). La identificación de servicios ambientales entre zonas urbanas y rurales: captura de carbono en el Parque Nacional Nevado de Toluca. pp: 243-260. En: Carreño, F., et al. *Planeación del Territorio y Ambiente en América Latina, Tomo II*. UAEM.
- Romero, J. y A. Velázquez. (1994). El conejo zacatuche: tan lejos de Dios y tan cerca de la Ciudad de México. Asociación de zoológicos y acuarios de México. México.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Ed. Limusa: México.
- Salomón, S., M. Contreras Montiel, P. Matzumura y P. Vásquez. (2005). Estimación de la variabilidad genética en el teporingo (*Romerolagus diazi*) en cautiverio. *Veterinaria México*, abril-junio, 119-133.
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Ley General de Vida Silvestre. Diario Oficial de la Federación (DOF). Última reforma publicada 7 de junio de 2011.
- Trigo, B. N., H. A. Chimal, G. W. Heil, R. Bobbink y B. Verduyn. (2003). Classification and mapping of the vegetation using field observations and remote sensing. En: Heil, G. W., R. Bobbink, y B. N. Trigo (Eds.), *Ecology and man in Mexico's Central Volcanoes area*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Vargas, B. C, R. V. Contreras, H. D. Flores, Martínez Díaz AC. (2013). Condición actual de la población de *Romerolagus diazi* en Santa Rita Tlahuapan, Puebla. En: Sigala, R. (Coord.). *Memorias del XXI Congreso Nacional de Zoología 2013*. Congreso llevado a cabo en Aguascalientes, México.

- Velázquez, A. (1994). Distribution and population size of *Romerolagus diazi* on El Pelado Volcano, México. *Journal of Mammalogy* 75: 743-749.
- Velázquez, A. (1996a). Geo-ecología del volcán Pelado, México: estudio integral enfocado hacia la conservación del conejo zacatuche. pp: 102-118. En: Velázquez, A., F. J. Romero y P. López. (Comp.), *Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat*. D.F, México: Fondo de Cultura Económica-UNAM.
- Velázquez, A. (1996b). Síntesis de estudios sobre el zacatuche y su hábitat. pp: 133-144. En: Velázquez, A., F. J. Romero y P. López. (Comp.), *Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat*. D.F, México: Fondo de Cultura Económica-UNAM.
- Velázquez, A. (1998). Especies y hábitats en peligro de extinción. El caso del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*). *ICYT* (10): 45-49.
- Velázquez, A. (2012). El contexto geográfico de los lagomorfos de México. *Therya*, Agosto, 223-238.
- Velázquez, A., A. Larrazábal y J. Romero. (2011). Del conocimiento específico a la conservación de todos los niveles de organización biológica. El caso del zacatuche y los paisajes que denotan su hábitat. *Investigación ambiental*, 3 (2): 59-62.
- Velázquez, A., F. Cervantes y L. Galindo. (1993). The volcano rabbit (*Romerolagus diazi*) a peculiar lagomorph. *Lutra* (36): 62-69.
- Velázquez, A., F. Romero y L. León. (1996a). Fragmentación del hábitat del conejo zacatuche. pp: 73-86. En: Velázquez, A., F. J. Romero y P. López. (Comp.), *Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat*. D.F, México: Fondo de Cultura Económica-UNAM.
- Velázquez, A., F. Romero y P. López. (1996b). Amplitud y utilización del hábitat del conejo zacatuche. pp: 89-101. En: Velázquez, A., F. J. Romero y P. López. (Comp.), *Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat*. D.F, México: Fondo de Cultura Económica-UNAM.
- Velázquez, A., y G. Heil. (1996). Habitat suitability study for the conservation of the volcano rabbit (*Romerolagus diazi*). *Journal of Applied Ecology*, 33 (3), 543-554.
- Zedillo, A. (2013). Conducta agonística del conejo zacatuche *Romerolagus diazi* (Ferrari-Pérez 1893) en cautiverio. UNAM, México.

ANEXOS

Anexo 1. Información de UM.

Datos de sitio:							Incendios:	% Herbáceo	% Arbustivo	
Fecha:			Árboles caídos:							
Sitio:	X	Y	Z	Exposición	Pendiente	Densidad bosque	Tocones diámetro basal:			
	Presencia de excretas:			Especie herbácea:						
	Tipo de muérdago:			Especie arbustiva:						
AB (m ² /ha)	Descortezador:	Cant:			Asociación de árboles:					

Anexo 2. Codificación de variables para análisis en SPSS.

Variable	Registro/codificación
Afloramiento rocoso	0=no hay; 1=hay afloramiento rocoso
Altitud	Número 3400-4200 (m)
Área basal (AB)	Número (ha ⁻¹)
Árboles caídos	Número total
Árboles muertos en pie	Número total
Asociación de especie	0=no hay; 1= <i>P. hartwegii</i> ; 2= <i>A. religiosa</i> ;...7= <i>P. pseudostrabus</i>
Datos de la UM	0=no hay; 1=brecha 2=camino;...45=reforestación_ <i>Cratogeomys</i>
Dominancia arbustiva	0=no hay; 1= <i>S. cinerarioides</i> ; 2= <i>B. salicifolius</i> ;...18= <i>R. roseus</i>
Dominancia herbácea	0=no hay; 1= <i>Festuca</i> ; 2= <i>Muhlenbergia</i> ;...7= <i>Stipa</i>
Evidencia de excretas	0=no hay; 1=hay indicio de <i>R. diazi</i>
Exposición de ladera	Número 0-359 (°)
Incendio	0=no hay; 1=hay indicio
Pastoreo	0=no hay; 1=hay indicio
Pendiente del terreno	Número 0-50
Porcentaje arbustivo	Número 0-100 (%)
Porcentaje herbáceo	Número 0-100 (%)
Tipo de densidad	0=no hay; 1=Fragmentado; 2=Semidenso; 3=Denso
Tocones	Número total

Anexo 3. Tabla de comunalidades: Valor de extracción de cada variable usada en sitios sin excretas en análisis de componentes principales.

	Inicial	Extracción
Afloramiento rocoso	1.000	.490
Altitud	1.000	.586
Asociación de especie	1.000	.584
Dominancia arbustiva	1.000	.612
Dominancia herbácea	1.000	.600
Exposición	1.000	.531
Incendio	1.000	.427
Observaciones	1.000	.381
Pastoreo	1.000	.556
Pendiente	1.000	.565
Porcentaje arbustivo	1.000	.703
Porcentaje herbáceo	1.000	.487
Tipo de densidad	1.000	.389

Anexo 4. Varianza total explicada para sitios sin excretas con el método de extracción: Análisis de componentes principales.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	1.98	15.24	15.24	1.98	15.24	15.24	1.74	13.40	13.40
2	1.49	11.47	26.71	1.49	11.47	26.71	1.44	11.10	24.49
3	1.24	9.57	36.28	1.24	9.57	36.28	1.43	11.03	35.52
4	1.16	8.91	45.19	1.16	8.91	45.19	1.16	8.93	44.45
5	1.04	7.98	53.17	1.04	7.98	53.17	1.13	8.72	53.17

Anexo 5. Tabla de comunalidades: Valor de extracción de cada variable usada en sitios con excretas en análisis de componentes principales

	Inicial	Extracción
Afloramiento rocoso	1.000	.655
Altitud	1.000	.660
Asociación de especie	1.000	.729
Dominancia arbustiva	1.000	.883
Dominancia herbácea	1.000	.822
Exposición	1.000	.772
Incendio	1.000	.821
Observaciones	1.000	.757
Pastoreo	1.000	.698
Pendiente	1.000	.351
Porcentaje arbustivo	1.000	.745
Porcentaje herbáceo	1.000	.787
Tipo de densidad	1.000	.798

Anexo 6. Varianza total explicada para sitios con excretas con el método de extracción: Análisis de componentes principales.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	2.55	19.62	19.62	2.55	19.62	19.62	2.37	18.23	18.23
2	1.79	13.80	33.42	1.79	13.80	33.42	1.71	13.16	31.39
3	1.56	12.03	45.45	1.56	12.03	45.45	1.51	11.65	43.04
4	1.27	9.75	55.20	1.27	9.75	55.20	1.47	11.27	54.31
5	1.22	9.36	64.57	1.22	9.36	64.57	1.31	10.08	64.39
6	1.08	8.34	72.91	1.08	8.34	72.91	1.11	8.52	72.91