



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**Caracterización del hábitat de *Romerolagus diazi*
en el bosque de alta montaña del monte Tláloc,
Sierra Nevada**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

BIOL. ALMA ABIGAIL LUNA GIL

COMITÉ DE TUTORES:

TUTOR ACADÉMICO

DR. ANGEL ROLANDO ENDARA AGRAMONT

TUTORES ADJUNTOS

DR. OCTAVIO MONROY VILCHIS

DR. JOSÉ ALEJANDRO VELÁZQUEZ MONTES

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Septiembre 2021

CONTENIDO

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
ANTECEDENTES	14
Hábitat y ecología	14
Distribución	16
JUSTIFICACIÓN	19
HIPÓTESIS	20
OBJETIVO GENERAL	21
Objetivos particulares	21
MÉTODOS	22
Área de estudio	22
Muestreo	24
Colecta de datos	24
Post muestreo	26
RESULTADOS	28
RESULTADOS ADICIONALES	48
DISCUSIÓN	55
CONCLUSIONES	60
LITERATURA CITADA	61
ANEXOS	69

ÍNDICE COMPLEMENTARIO

Figuras

Figura 1. Conejo de los volcanes.....	11
Figura 2. Bosques de alta montaña, Monte Tláloc, Estado de México.	13
Figura 3. Zacatonal idóneo para el conejo zacatuche: : cobertura herbácea >75% y presencia de roquedos (5-15% de cobertura).....	15
Figura 4. Amenazas en el hábitat de <i>R. diazi</i> (incendios, ganadería, tala y apertura de caminos)	17
Figura 5. Monte Tláloc visto desde cerro Telapón.....	22
Figura 6. Sitios de muestreo en torno al monte Tláloc y cerro Telapón.....	24
Figura 7. Colecta y registro de datos en campo.....	25
Figura 8. Área ocupada por <i>Romerolagus diazi</i> en monte Tláloc y cerro Telapón.....	48

Cuadros

Cuadro 1. Diversidad de comunidades registradas en monte Tláloc.....	49
Cuadro 2. Asociaciones/poblaciones arbóreas presentes en monte Tláloc	50

Gráficas

Gráfica 1. Fisionomía y estructura de las comunidades del monte Tláloc, México.....	51
Gráfica 2. Media del número de letrinas en cada SM (letrinas/m ²) respecto a las comunidades vegetales.	51
Gráfica 3. Frecuencia de SM con presencia del zacatuche respecto a la altitud (msnm).	52
Gráfica 4. Abundancia del zacatuche de acuerdo con la cobertura de suelo: herbácea, arbustiva y rocosa.....	53
Gráfica 5. Índice de impacto antropogénico con relación a la abundancia del zacatuche (letrinas/m ²).	54

Anexos

Anexo 1. Distribución potencial y actual del zacatuche.....	69
Anexo 2. Evidencia de rastros del conejo zacatuche en monte Tlálloc.....	69
Anexo 3. Plántula de <i>P. hartwegii</i> como alimento del conejo zacatuche.....	70

RESUMEN

El conejo volcánico, también conocido como zacatuche o teporingo (*Romerolagus diazi*), es el lagomorfo más pequeño de México, categorizado en peligro de extinción. Las principales amenazas a las que se enfrenta son la pérdida y/o fragmentación del hábitat. Por encima de los 3 400 msnm, se establecieron sitios de muestreo (SM) circulares de 0.1 ha (17.86 m de radio) en monte Tlálóc y cerro Telapón, para esto, se utilizaron las curvas de nivel como transectos con una separación altitudinal de 100 m, distribuidos de forma sistemática sobre los mismos, a una equidistancia de 300 m. En cada SM se indicó la especie o asociación dominante de árboles, porcentaje de ocupación de las especies dominantes herbáceas y arbustivas, se registró si existía evidencia de un incendio reciente, roquedos, fauna, cercanía a caminos, así como algún índice de perturbación antropogénica; se inventariaron los fustales, además de que en un radio de 9.78 m (300 m²), se cuantificaron letrinas de zacatuche.

El área ocupada por *R. diazi* fue de aproximadamente 1 537 ha con una media de 0.0466318 letrinas/m². Monte Tlálóc, presentó cuatro comunidades vegetales: 1. Bosque de pino de las alturas-pastizal, 2. Bosque de aile, 3. Bosque de cedro y, 4. Asociaciones de menor rango. Las comunidades que presentaron letrinas fueron exclusivamente bosque de aile y bosque de pino de las alturas-pastizal, esta último con mayor número de letrinas y con abundancia alta en el rango de 3 600-3 800 m de altitud. Además, el zacatuche mostró preferencia por el bosque de pino abierto, cuya cobertura de copa oscila entre 10 y 40 %, seguido del bosque de pino cerrado (coberturas mayores al 40 %) y árboles aislados (<10% de cobertura de copa). La cobertura de suelo determinó en gran medida la abundancia del conejo zacatuche, se registraron mayores hacinamientos de abundancias en sitios con cobertura herbácea 60-90%, cobertura arbustiva <40%, y cobertura rocosa 10-20%. Finalmente, el conejo zacatuche se asoció a sitios que no presenten alguna perturbación, o bien, a sitios con reforestación e incendio reciente, el primero se relaciona posiblemente a su uso como alimento y, el segundo a que los incendios favorecen el rebrote del zacatonal.

ABSTRACT

The volcanic rabbit, also known as zacatuche or teporingo (*Romerolagus diazi*), is the smallest lagomorfo in Mexico, categorized as endangered. The main threats it faces are habitat loss and/or fragmentation. Above 3 400 masl, circular sampling sites (SM) of 0,1 ha (17.86 radius) in mount Tláloc and hill Telapón, for this, level curves were used as transects with an altitudinal separation of 100 m, distributed of systematically on them, at an equidistance of 300 m. In each SM the dominant species or association of trees was indicated, percentage of occupancy of the dominant species herbaceous and shrub, was recorded if there was evidence of a recent fire, rocks, fauna, proximity to roads, as well as some index of anthropogenic disturbance; the fustal stems were inventoried, in addition to the fact that in a radius of 9.78 m (300 m²), zacatuche latrines were quantified.

The area occupied by *R. diazi* was approximately 1 537 ha with an average of 0.047 latrines/m². Monte Tláloc, presented four plant communities: 1. Highland pine forest-grassland, 2. Alder forest, 3. Cedar forest and, 4. Lower-ranking associations. The communities that presented latrines were exclusively alder forest and highland pine forest-grassland, the latter with greater number of latrines and with high abundance in the range of 3 600-3 800 m altitude. In addition, the zacatuche showed a preference for the open pine forest, whose canopy coverage ranges between 10 and 40%, followed by the closed pine forest (coverage greater than 40%) and isolated trees (10% canopy coverage). Soil coverage determined the abundance of zacatuche rabbit, greater overcrowding of abundances were recorded in sites with herbaceous coverage 60-90%, shrubby coverage 40%, and rocky coverage 10-20%. Finally, the zacatuche rabbit was associated to sites that do not present any disturbance, or to sites with reforestation and recent fire, the first is possibly related to its use as food and, the second to which the fires favor the regrowth of the zacatonal.

INTRODUCCIÓN

El Eje Neovolcánico Transversal (ENT), zona transicional entre las regiones Neotropical y Neártica (Rzedowski 2006), debido a su ubicación geográfica y al relieve que posee, es considerado como centro de endemismo, además de que es la zona donde se concentra la mayor riqueza biológica del país (Suárez y Téllez 2014). Lagomorpha es uno de los órdenes que alberga el ENT, específicamente conejos, los cuales son especies clave en la regulación de la integridad ecológica de los ecosistemas que habitan (Velázquez 2012). México es el tercer país con mayor diversidad de especies de lagomorfos en todo el mundo, con 15 especies: 5 liebres y 10 conejos (9 del género *Sylvilagus* y una de *Romerolagus*; Lorenzo y Ruiz 2013).

El conejo de los volcanes, también conocido como zacatuche o teporingo (*Romerolagus diazi*, Ferrari-Pérez 1893; Fig. 1), es el lagomorfo más pequeño de México, está clasificado como especie sombrilla, ya que al conservarla se protege también a un gran número de especies de flora y fauna silvestre (SEMARNAT 2018), además de especie bandera, puesto que, al ser carismático puede ser usado como símbolo central de acciones de conservación porque recibe interés y simpatía del público (Rumiz 2010). Se caracteriza por poseer cola no visible y orejas pequeñas y redondas, el rango de longitud total para individuos adultos es de 270-315 mm y un peso de 380-600 g (Cervantes y Martínez 1996).



Figura 1. Conejo de los volcanes. Ilustración de Mendoza Cabrera, 2018.

Respecto a su distribución, el zacatuche es endémico de la parte central del ENT, específicamente en cuatro áreas discontinuadas de hábitat: los volcanes Popocatepetl, Iztaccíhuatl, El Pelado y Tláloc, que abarcan aproximadamente 386 km² (Velázquez 1994). Sin embargo, debido a la cercanía a la Ciudad de México y zona Metropolitana, existe agotamiento y desaparición de especies de plantas y animales, incluyendo al zacatuche, por lo que, desde hace más de 50 años ha sido catalogado como en peligro por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (Velázquez y Guerrero, 2020).

En México, actualmente se encuentra incluido en la Norma Oficial Mexicana de especies en riesgo en la categoría en peligro de extinción (P, SEMARNAT 2010). Las principales amenazas a las que se enfrenta son la pérdida y/o fragmentación del hábitat (expansión de mancha urbana, agricultura, ganadería, incendios, tala e introducción de especies exóticas; Hoth *et al.* 1987, Velázquez *et al.* 2011) y recientemente, el cambio climático (Anderson *et al.* 2009). Esta transformación del hábitat puede destruir, degradar y fragmentar paisajes, creando parches de hábitat que difieren en tamaño, calidad y grado de aislamiento; como consecuencia, la depresión de la endogamia genética en las poblaciones del zacatuche, sigue siendo una preocupación (Paulo *et al.* 2008).

Los parches son fragmentos de hábitat donde las condiciones son adecuadas para el establecimiento de especies (Uriostegui-Velarde *et al.* 2018). El aislamiento de parches, que afecta la calidad del parche y la capacidad de dispersión de los organismos, tiene efectos negativos sobre la riqueza y abundancia de especies. Los parches pequeños y aislados de baja calidad para el teporingo con movilidad limitada son más bajos en riqueza y abundancia que los parches más grandes y menos aislados de mejor calidad. Las poblaciones del conejo zacatuche se distribuyen en parches a elevaciones superiores a 2 800 msnm (Velázquez *et al.* 1996a).

Los bosques de alta montaña constituyen el hábitat de *R. diazi* (Hunter y Creswell 2015). En altitudes por encima de los 3500 msnm crece el pino de las alturas (*Pinus hartwegii*), denominado así por ser el único en México que habita en los límites altitudinales de la vegetación arbórea, llegando a crecer hasta los 4200 msnm (Fig. 2). Debido a que el teporingo es una especie estenoica (Velázquez 2012), se asocia a pino-zacatonal (Cervantes *et al.*

1990), concretamente en presencia de gramíneas amacolladas de los géneros *Mulhenbergia*, *Festuca* y *Jarava* (Velázquez 1994) que, además de formar parte de su alimentación, brindan refugios (además de montículos pedregosos; Trigo *et al.* 2003).



Figura 2. Bosques de alta montaña, Monte Tláloc, Estado de México.

La caracterización y estructura de los bosques de alta montaña, mediante inventarios forestales permite la descripción de las condiciones físicas y bióticas (Dauber 1995), tales como el estado fitosanitario del bosque, mapeo ecológico del paisaje, evaluación del hábitat para fauna, además de desarrollar planes de conservación y manejo, además de tomar en cuenta variables relevantes como afloramientos rocosos, pendiente y arbustos, esto, sin perder información clave sobre la biodiversidad y estructura de la vegetación (Jardel 2015).

Por otro lado, el estudio de las comunidades vegetales es la clave para entender las relaciones ecológicas entre los componentes bióticos y abióticos, mientras que las políticas de aprovechamiento forestal y de conservación de la biodiversidad inciden en las condiciones en que se mantienen los bosques (Chávez-León 2014) y, por tanto, en las del hábitat de los animales silvestres.

En estudios de mastofauna, Aranda (2000), menciona que el rastro es un vestigio, señal o indicio que dejan los mamíferos durante sus actividades; huellas y/o excretas, son los principales rastros para identificar de manera indirecta la presencia de cierta especie.

ANTECEDENTES

Hábitat y ecología

La caracterización y estructura del paisaje en el que se desarrolla *Romerolagus diazi* ha sido estudiado por Velázquez *et al.* (1996b), en el volcán Popocatepetl, Pelado y volcán Tláloc, donde muestrearon 108 sitios de 25 m² para zonas de pastizal y 500 m² para zonas de bosque; concluyeron que la especie utiliza significativamente más el hábitat conformado por *Pinus* spp. y *Festuca toluensis*. Se ha registrado que la comunidad *Festuca toluensis* (70% de cobertura de suelo) / *Pinus* spp. (10% de cobertura) es la más favorable para la especie; seguida por *Muhlenbergia macroura* (70%) / *Pinus* spp. (20%, Velázquez *et al.* 1996b), además de registrar a *Senecio cinerarioides* como la especie arbustiva a la que se asocia la especie. Hoy, sin embargo, esta fuerte especialización de hábitat hace vulnerable al zacatuche a las perturbaciones ambientales. En el monte Tláloc, hasta la fecha, no se han realizado estudios de la caracterización del hábitat.

Se ha documentado mayor abundancia del conejo de los volcanes en las zonas donde dichos zacatonales tienen una cobertura densa y mayor altura (Rizo *et al.* 2015), aunque no solo la cobertura del zacatonal, sino que también a mayor cobertura herbácea, mayor abundancia considerable del zacatuche, a pesar de la falta de zacatonales densos que lo protejan, lo cual sugiere una correlación en la abundancia del zacatuche respecto a la presencia de vegetación herbácea y/o zacatonal (Rangel 2008).

Respecto a la cobertura rocosa, la abundancia relativa de conejos es mayor en sitios con 5-15%, y menor en aquellos ocupados con cobertura rocosa <5%. Aunque si se presenta una cobertura de roca >15% la abundancia del zacatuche baja, debido a que la roca implica disminución de cobertura por el zacatón. (Osuna *et al.* 2021). No obstante, existen zacatonales “idóneos” (Fig. 3) donde no se ha registrado, esto sugiere que otros factores, además de la vegetación, pueden determinar si dicha especie está presente en determinada área; factores abióticos tales como la elevación y la pendiente del terreno, podrían limitar la selección de parches de esta especie (Uriostegui-Velarde *et al.* 2018).



Figura 3. Zacatonal idóneo para el conejo zacatucho: cobertura herbácea >75% y presencia de roquedos (5-15% de cobertura).

Pinus hartwegii conforma los bosques de alta montaña de México (Rzedowski 1978, Endara *et al.* 2013), se desarrolla entre los 3000 y 4000 msnm, altitud a la que se encuentra *Romerolagus diazi* (Hunter y Craswell 2015). No obstante, son los ecosistemas con mayor dinámica de deterioro (Endara *et al.* 2013), poniendo al hábitat de *R. diazi* en condiciones desfavorables. Velázquez (1996), afirma que el hábitat 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 (Morrison *et al.* 2006).

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).

La información disponible sobre el uso del hábitat de *R. diazi* está limitada a la escala del paisaje (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). Aunado a lo anterior, y contrario a lo que se piensa que, al ser lagomorfos su reproducción es numerosa y exitosa, su tasa de reproducción resulta ser por debajo de la media de todos los mamíferos, ya que el tamaño de camada es de 1.5 gazapos en promedio, la periodicidad reproductiva solo una vez al año, y un éxito reproductivo bajo en términos de los gazapos logrados a la etapa de madurez sexual, alrededor de 1.5 de cada tres parejas (Velázquez *et al.* 2011). El zacatuche es gregario y vive en grupos de dos a cinco individuos adultos y presentan un ámbito hogareño de 2 500 m² (Cervantes y Martínez, 1996).

Distribución

En 1987 se delimitó con certeza el área total de distribución de *R. diazi* (386 km²; Velázquez 1996a), aunque, en el Corredor Biológico Chichinautzin, se han agregado 109 km² a esta distribución (Rizo-Aguilar *et al.* 2015). Actualmente, el área de ocupación es de aproximadamente 2 469 km² (Velázquez y Guerrero, 2019). Sin embargo, dicha área es discontinua y cada vez se está fragmentando más.

A pesar de identificar nueve áreas potenciales (Nevado de Colima, Tancítaro, Sierra Chincua, Nevado de Toluca, Sierras Chichinautzin y Ajusco, Sierra Nevada, Volcán Malinche, Cofre de Perote y Pico de Orizaba), la especie es endémica a la parte central del Eje Neovolcánico Transversal, específicamente en cuatro áreas núcleo: volcanes Pelado y Tláloc (Sierras Chichinautzin y Ajusco), y volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl (Sierra Nevada; Anexo 1; Velázquez 1996a). Dicha distribución restringida se debe a su historia biogeográfica, durante el Pleistoceno como respuesta a procesos de expansión retroceso de frentes de enfriamiento (Velázquez *et al.* 2011). Posteriormente, la falta de flujo de genes cedió a la diversificación y estructura espacial de sus poblaciones (Osuna *et al.* 2020).

En las elevaciones Telapón, Tláloc, Iztaccíhuatl, Chichinautzin y Ajusco, se tiene evidencia y registros de *R. diazi*, (Velázquez *et al.* 1996a, Rizo *et al.* 2015), sin embargo, en el Nevado de Toluca, zona donde ha sido controversial su distribución, se reportan excretas atribuibles

a la especie, no obstante, mediante fototrampeo no se logró obtener registros de esta (Luna 2017). Aunque el estado actual de las poblaciones silvestres del conejo volcánico es crítico, hasta ahora no se ha informado sobre su tamaño, estructura o demografía, y el conocimiento de las relaciones ecológicas entre esta especie y su hábitat es escaso (Rizo *et al.* 2014).

Amenazas que restringen su distribución

El zacatuche ha sobrevivido a diversas etapas críticas durante su historia al ser una especie pancrónica o primitiva, endémica y especialista de hábitat (Velázquez *et al.* 2011). El impacto de las actividades antrópicas sobre el hábitat de *R. diazi*, restringe su distribución. Incendios, pastoreo, extracción de madera, contribuyen a la fragmentación y/o destrucción de su hábitat (López *et al.* 1996, Monroy-Vilchis *et al.* 2020; Fig. 4), además de cacería y depredación por especies ferales (Montes-Carretero *et al.* 2020).



Figura 4. Amenazas en el hábitat de *R. diazi* (incendios, ganadería, tala y apertura de caminos).

Otros factores que reducen la calidad del hábitat y por lo tanto su distribución, son la vecindad de los asentamientos humanos, esta cercanía involucra agricultura, remoción de suelo fértil, construcción de carreteras, contaminación (Osuna *et al.* 2021). Respecto a variables antrópicas que determinan la presencia de *R. diazi* son pastoreo y evidencia de incendio (López *et al.* 1996, Hunter y Creswell 2015). Sin embargo, estudios recientes (Monroy-

Vilchis *et al.* 2020, Osuna *et al.* 2021), demuestran lo contrario: pastoreo e incendios influyen de forma negativa en su presencia.

A pesar de su gran relevancia, la región del monte Tlálloc, se encuentra sometida a fuertes presiones antrópicas (SIEA 2012), lo que ha ocasionado que, en los últimos años, se haya reducido 13% la densidad del arbolado (número de árboles por unidad de superficie), esto incrementa la fragmentación de los bosques (Bobbink *et al.* 2003). Dicha deforestación se debe, en buena medida, al aumento de incendios asociados al sobrepastoreo, a la tala ilegal y al crecimiento de los asentamientos humanos. La extracción clandestina de madera es más evidente en el monte Tlálloc que en el resto del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl Zoquiapan y Anexas, ya que los taladores aprovechan el sistema de caminos y veredas de una fábrica de papel que existió en los años noventa (CONANP 2008).

JUSTIFICACIÓN

El monte Tláloc, área periférica del hábitat de *Romerolagus diazi*, presenta drástica disminución y deterioro, evidenciando el alto riesgo en el que se encuentra el zacatuche, por lo que, la caracterización física y ambiental del hábitat de una dicha especie endémica del Eje Neovolcánico Transversal, contribuirá al conocimiento y conservación tanto del zacatuche como del paisaje, y así, aportar datos que respalden futuras decisiones en el marco de planes de manejo.

HIPÓTESIS

El hábitat de *Romerolagus diazi* en monte Tláloc, presenta características vegetativas similares a su hábitat ya descrito, el zacatuche es altamente especialista a bosques de *Pinus hartwegii*-zacatonal alpino, en respuesta, la densidad es mayor en dichos bosques.

OBJETIVO GENERAL

Identificar y describir las diferentes comunidades vegetales presentes en monte Tláloc, así como la utilización del hábitat por el conejo de los volcanes.

Objetivos particulares

- Caracterizar las comunidades vegetales del monte Tláloc
- Evaluar las características abióticas que definen la presencia de *Romerolagus diazi*.
- Documentar un nuevo registro que modifique sustancialmente el rango de distribución

MÉTODOS

Área de estudio

Monte Tláloc, representa un área al noreste de la distribución conocida del conejo zacatuche, constituye una de las principales elevaciones del Eje Neovolcánico Transversal, cubre una extensión de 8 518 ha por encima de los 3 500 msnm, abarcando dos elevaciones rocosas: monte Tláloc (4 125 msnm) y cerro Telapón (4 057 msnm, en adelante, ambos se citarán como monte Tláloc, Fig. 5), estos edificios volcánicos forman parte de la Sierra Nevada o Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl-Zoquiapan y Anexas, el cual como estrategia para su conservación, fue decretado en 1935 como Parque Nacional. Dada su cercanía con una de las zonas metropolitanas más densamente pobladas del mundo, el monte Tláloc está sujeto a una presión permanente, principalmente por el aprovechamiento de sus recursos forestales.



Figura 5. Monte Tláloc visto desde cerro Telapón.

Se localiza en los límites del Estado de México con los estados de Puebla y Tlaxcala, abarca parte de los municipios de Texcoco e Ixtapaluca; integran parte de los ejidos de Tequexquináhuac, Santa Catarina del Monte, San Pablo Ixayoc, San Dieguito, Santa María Nativitas y San Miguel Tlaixpan, que corresponden al municipio de Texcoco e Ixtapaluca, Estado de México; y de los Ejidos de Coatepec, Santiago Coltzingo, San Juan Cuauhtémoc, municipio de Tlahuapan, Puebla.

Geología

Su origen data del Pleistoceno, su edad se calcula entre 600 000 y 700 000 años, aunque podrían tener una edad aún mayor. Ambos edificios volcánicos que se conocen como los volcanes de la Sierra de Río Frío han sido poco estudiados, sin embargo, recientemente, se ha descubierto que se produjo una fuerte erupción hace unos 30 000- 31 000 años, ya que presenta elevaciones llamadas cerros blancos, situadas a 3 800 msnm, que son de material volcánico de esta última actividad del Tláloc (Neyra 2012). En la cumbre del monte Tláloc, se encuentra el templo prehispánico a mayor altitud de México (4 125 msnm).

Clima

El clima es frío, tipo E (T) H (Villanueva-Díaz *et al.* 2016), con temperatura media de 16.4, máxima de 25.1 y mínima de 7.7°C. La precipitación promedio anual es de 612 mm (Astudillo-Sanchez *et al.* 2017).

Vegetación

Se caracteriza por el predominio de los bosques de alta montaña, compuestos principalmente por poblaciones de *Pinus hartwegii*, ya que para su supervivencia requiere condiciones climáticas frías (Luna-Vega 2018) y, en menor medida, por *Abies religiosa*. Este monte está situado en la zona de transición entre las regiones florales holárticas y neotropicales. A lo largo del declive, se presentan seis tipos de vegetación natural dominante: encinar arbustivo, bosque de encino, bosque mixto (principalmente de encinos y pinos), bosque de oyamel, bosque de pino y las partes altas se encuentran cubiertas por roquedos y zacatonal alpino (Sánchez-González *et al.* 2006). Rzedowski (2006) refiere cuatro tipos de vegetación para estas zonas de alta montaña: pino, pino-aile, oyamel y pastizal subalpino.

Muestreo

A partir del método de transectos (Dauber 1995), se utilizaron las curvas de nivel como transectos con una separación altitudinal de 100 m, esto debido a la variabilidad climática asociada a la altitud (cada 100 m de altitud incrementan 0.6 °C; Mayer y Ott 1991). Por encima de los 3 400 msnm, se establecieron sitios de muestreo (SM), los cuales fueron circulares de 0.1 ha (17.86 m de radio), distribuidos de forma sistemática sobre los transectos, a una equidistancia de 300 m, la cual permitió superar la intensidad mínima de muestreo (recomendada: 0.89%, lograda: 1.36%), con una superficie muestreada de 634 ha (Fig. 6).

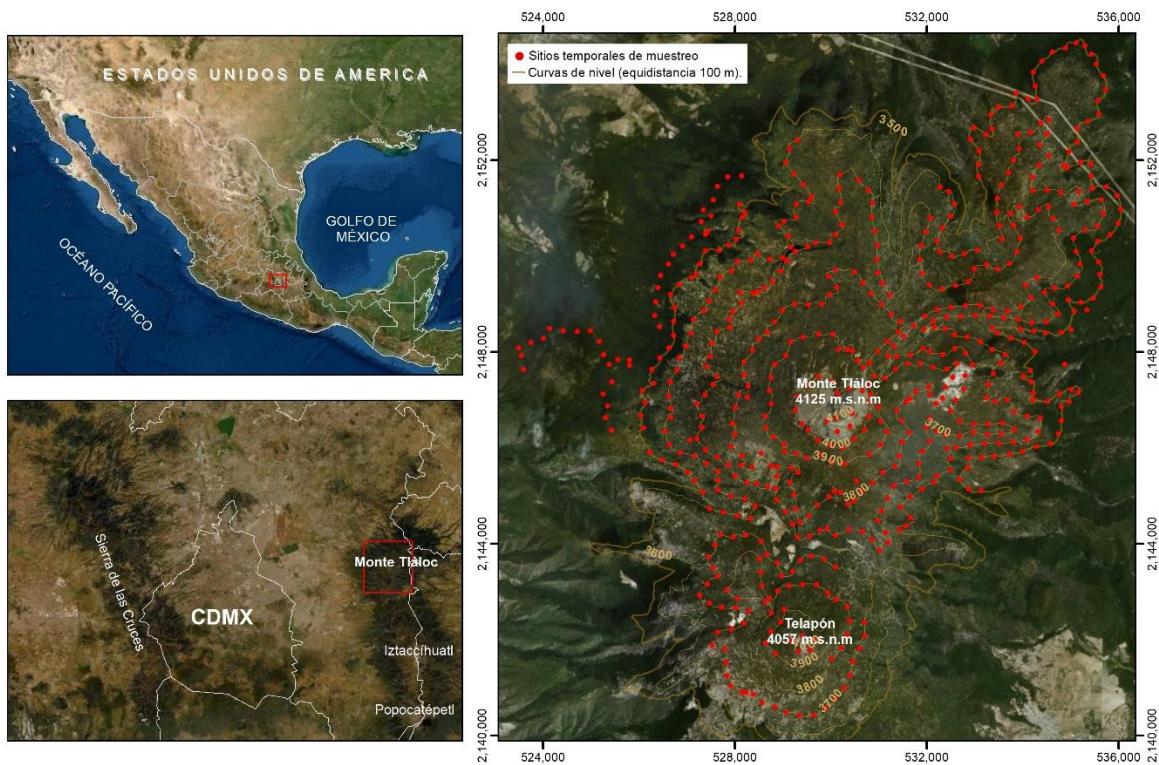


Figura 6. Sitios de muestreo en torno al monte Tlaloc y cerro Telapón.

Colecta de datos

EL trabajo de campo se llevó a cabo desde febrero 2019 hasta noviembre 2020. Se instalaron 634 sitios de muestreo; en cada SM se registraron las coordenadas UTM del punto central y

altitud (m) con un GPS Rino® 650 Garmin y, con una brújula-clinómetro Tandem Suunto, se registraron la pendiente y exposición de ladera (°).

Se trazaron dos ejes en dirección al norte-sur y este-oeste con cintas largas de fibra de vidrio que cruzaran el punto central del SM y, se indicó la especie o asociación dominante de árboles, porcentaje de ocupación de las especies dominantes herbáceas y arbustivas. Se hicieron observaciones generales sobre las condiciones ambientales en cada sitio, es decir, si existía evidencia de un incendio reciente, roquedos, cercanía a caminos y datos de referencia del SM (*e.g.* reforestación, extracción para madera, barranca, fauna asociada). Siguiendo el enfoque del inventario forestal, se inventariaron los fustales (≥ 7.5 cm de DN) al interior del SM, se registró altura total y diámetro normal (DN) de cada individuo (Fig. 7).



Figura 7. Colecta y registro de datos en campo.

Al interior del SM en un radio de 9.78 m (300 m^2), se registró la evidencia de excretas del conejo volcánico (*Romerolagus diazi*) con toma de fotografías de las excretas con referencia de escala (moneda de un peso m/n), además se cuantificaron el número de letrinas o deposiciones, donde un grupo de 30 o más gránulos se consideró como una letrina.

Post muestreo

Los datos obtenidos durante el trabajo de campo se utilizaron para construir una base en Excel, así como una base de datos en formato shapelfile o geodatabase para proyectar los datos en el programa ArcGIS y, digitalizar el mapa del monte Tláloc con los puntos de SM con presencia de excrementos y los polígonos de abundancia de *R. diazi*, esto de acuerdo con las comunidades del bosque.

Investigaciones anteriores sostenían que las actividades humanas, es decir, la quema y el pastoreo, en lugar de factores abióticos, desempeñan un papel importante en la determinación de la distribución y la composición florística de la vegetación, por lo que se incluyeron dichos datos, además de variables ambientales: porcentaje de copa arbórea, porcentaje de cobertura de estrato herbáceo y arbustivo, así como las especies dominantes de dichos estratos.

Para obtener confiabilidad acerca de los excrementos, de acuerdo con lo propuesto por Aranda (2012), descritas como pellas de materia vegetal triturada y compacta, de color café, 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); según su tamaño y forma, se resolvió así si es o no rastro de la especie estudiada.

El manejo de los datos de vegetación se llevó a cabo utilizando Excel y el software CANOCO 4.5 (CCA con prueba de significancia Monte Carlo; Ter Braak 2002), esto con el fin de formar comunidades presentes en el monte Tláloc y, posteriormente describir cada una de ellas de acuerdo con las especies dominantes de los estratos de vegetación estudiados.

Además, se determinó a priori, los SM con y sin excretas, esto para realizar un análisis factorial con el método de extracción de componentes principales con rotación varimax (Kaiser 1974), en el programa IBM SPSS 20.0, considerando las variables: altitud (msnm), exposición y pendiente (°), porcentajes de cobertura de copa y suelo (roca, herbáceo, arbustivo), incendio, comunidad, registros de *Sylvilagus* sp. y *R. diazi* (mediante letrinas), reforestación (prácticas de manejo) y cercanía a caminos.

Con el fin de evaluar preferencias de hábitat, se registró la frecuencia observada del número de letrinas en cada comunidad vegetal y se aplicó la prueba de bondad de ajuste chi-cuadrada

de Pearson para obtener las frecuencias esperadas. Además, se determinó la significancia de la variación y, posteriormente, se restaron los valores de la frecuencia observada menos la esperada, para obtener así un índice de presencia para cada tipo de comunidad vegetal (Monroy-Vilchis & Velázquez 2002), donde, a mayor índice, mayor preferencia de hábitat, por el contrario, índices menores representan menor preferencia.

Finalmente, mediante el software estadístico R Project (R Core Team 2019), se determinó el impacto de las actividades antropogénicas, considerando los diferentes niveles de perturbación observados, en el hábitat del conejo zacatuche. Para esto, se calculó un índice que oscila entre 1 y 6 para cada SM con los siguientes criterios: 0, sin perturbación; 1, extracción de madera; 2, actividades de pastoreo; 3, caminos; 4, reforestación; 5, evidencia de incendios; 6, dos o más actividades de las anteriores (González-Cubas *et al.* 2020). Este factor de intensidad (0, 1, 2, 3, 4, 5 o 6) se correlacionó con el número de letrinas/m².

*Article***Proximal habitat and underlying geocological factors as drivers of the distribution of the volcano rabbit: new evidence for habitat expansion**

5 A. ABIGAIL LUNA GIL, ANGEL R. ENDARA-AGRAMONT, ALEJANDRO VELÁZQUEZ, L. ANTONIO GARCÍA ALMARÁZ and OCTAVIO MONROY-VILCHIS

A. ABIGAIL LUNA GIL, L. ANTONIO GARCÍA ALMARÁZ and ANGEL R. ENDARA-AGRAMONT (Corresponding author) Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado
 10 de México. "El Cerillo Piedras Blancas". 50000. Toluca, México. E-mail arendaraa@uaemex.mx. orcid.org/0000-0001-8413-6551.

ALEJANDRO VELÁZQUEZ Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua carretera a Pátzcuaro No. 8701. Col. Ex-hacienda de San José de la Huerta. 58190, Morelia, Michoacán, México.

15 OCTAVIO MONROY-VILCHIS Centro de Investigación en Ciencias Biológicas Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de México. 50000. Toluca, México.

Abstract Previous investigation documented that the distribution of the volcano rabbit (*Romerolagus diazi*) was due to geocological and anthropic factors. Given the new research evidence,
 20 we ask ourselves two questions: what is the current distribution of the volcano rabbit in areas surrounding the already reported areas? And what are the geocological factors that explain it? From 2017 to 2020, a thorough geocological analysis was carried out in areas with similar attributes. Special attention was given to the northern part of the Sierra Nevada and the Nevado de Toluca Volcano. The method included circular sampling sites of 1,000 m², distributed at an equidistance of
 25 300 m on the contour lines of every 100 m. At each sampling site, environmental variables and vegetation attributes were measured. Additionally, evidence of the volcano rabbit was recorded by counting latrines at 300 m² / per site. The results revealed a significantly relevant finding by discovering irrefutable evidence of the presence of the volcano rabbit on Monte Tláloc. In contrast, is irrefutable conclusion of the absence of this species in the Nevado de Toluca Volcano. The new
 30 range contains *Pinus hartwegii* communities between 3,400 and 3,900 meters above sea level. A density of 0.047 latrines / m² and a new distribution area of 1,537 ha were obtained. Geocological and proximity related attributes explain the presence of the volcano rabbit. The implications for the

1

abundance and conservation actions of this threatened and panchronic species are subjects of ongoing research.

35 **Keywords** density, Monte Tláloc, *Pinus hartwegii*, *Romerolagus diazi*, use of habitat, volcano rabbit

Introduction

The volcano rabbit (*Romerolagus diazi*), endemic, panchronic and in danger of extinction, limits its distribution to the center of the Trans-Mexican Volcanic Belt (Velázquez & Guerrero, 2019; Monroy-Vilchis et al. 2020). Hoth et al. (1987) carried out the most thorough study to recognize the distribution pattern and reported its presence in fragmented portions of habitats within the Sierra Nevada (only in the Popocatepetl, Iztaccihuatl volcanos) and in the Sierra Chichinautzin (El Pelado and El Tláloc volcanos); with a surface total of 335 km². The volcano rabbit has turned into an emblematic species and an indicator of the level of biological complexity while sharing its habitat with endemic and at-risk species. (Fa et al., 1992; Velázquez & Romero, 1999; Suárez & Téllez, 2014). For decades, diverse efforts have looked to identify the proximal causes that explain the distribution pattern in an archipelago manner. (Velázquez, 1993; López et al., 1996; Uriostegui-Velarde et al., 2018).

Controversies have prevailed through reports that modify the distribution pattern towards new, not previously reported contiguous areas, like the attributes that better explain the current distribution range of volcano rabbits. (Velázquez & Heil, 1996). Due to its proximity to the Megalopolis of Mexico, the impact of anthropic activities on the habitats of the *R. diazi*, restricts its distribution and places it as a seriously threatened species.

Documenting the distribution pattern of emblematic species or umbrella (Velázquez et al., 2011), as well as exploring the causes that explain it, is important in the biology of conservation (Primack, 2008), landscape ecology (Velázquez et al., 2003) and island biogeography (Nettles et al., 2020). Species with a high level of habitat specificity tend to be associated with primarily ecological factors, like the proximal causes to explain its distribution. (Ottaviani et al., 2020). Long-term underlying factors, like those that are geoeological (García & Di Marco, 2020) or those of short-term nature, like anthropic factors have also proven to be relevant (Velázquez, 1991). Explaining the triggers of the distribution pattern in endemic, habitat specialists, and endangered species is crucial. (Smith et al., 2020). However, outside of investigations in marine island systems (Pattino et al., 2017) there are few examples in terrestrial systems, where the conditions allow the identification of the underlying ecological or geoeological causes to understand the distribution patterns of these species.

2

65 For the volcano rabbit, it has been documented that the main drivers that explain their distribution
patterns are: threats are the loss and / or fragmentation of habitat, due to the expansion of urban areas,
agriculture, fires, grazing, extraction for wood, hunting and introduction of exotic species (Hoth et
al., 1987; López et al., 1996; Velázquez et al., 2011) and, recently, climate change (Anderson et al.,
2009). This habitat transformation can destroy, degrade, and fragment landscapes, creating patches
70 of habitat that differ in size, quality, and degree of isolation. Volcano rabbit populations are
distributed in patches of habitat at elevations above 3,400 meters above sea level (Velázquez et al.,
1996a; Uriostegui-Velarde et al., 2018), altitudes in which the pine of the heights grows (*Pinus
hartwegii*), dominant species of high mountain forests (Rzedowski, 2006; Endara et al., 2013).

In recent years, research on the species has focused on the characterization and structure of the
75 landscape in which it is established. (Hunter & Cresswell, 2015; Rizo et al., 2015; Uriostegui-Velarde
et al., 2018). Greater abundance has been recorded in areas where the grasslands present dense
coverage and greater height (Rizo et al., 2015; Osuna et al., 2021), although there are also "suitable"
grasslands where it has not been recorded, so that, in addition to vegetation, other factors can
determine its presence (Monroy-Vilchis et al. 2020). Empirical evidence has cast doubt on whether
80 habitat quality is the only ecological condition that explains the presence of the volcano rabbit
(Velázquez and Heil, 1996). There is currently only one research that documents the absence of *R.
diazi* in an area of similar habitat (Nevado de Toluca), but geologically different (Monroy-Vilchis
et al., 2020, Murga-Cortés et al., 2020). In Monte Tlálloc there is potential evidence of the species in
question (Velázquez & Guerrero, 2019; Osuna et al., 2020); however, to date, in this area, there is no
85 empirical evidence of the presence of volcano rabbits, as well as habitat studies.

The objective of this study was to compare two areas with similar habitat characteristics, but with
different geocological histories, where the presence of the volcano rabbit has been controversial.
Because both areas are at comparable distances from urban centers that together make up the
Megalopolis of Mexico, it is assumed that the anthropic causes are analogous. The results are
90 discussed regarding their methodological, ecological and conservation implications.

[Study area]

Monte Tlálloc (4 125 masl) and Cerro Telapón (4 057 masl) (hereinafter referred to as Tlálloc), of Late
Pleistocene age represent the northern extension of the Sierra Nevada where the presence of the
volcano rabbit has been limited to the Iztaccihuatl and Popocatepetl volcanos (Hoth et al., 1987).
95 Tlálloc and the Iztaccihuatl (where the records of the volcano rabbit have been constant) are separated
by a depression with an altitude of 2,900 meters above sea level where a highway that connects the
cities of Mexico and Puebla runs, with multiple human settlements and cultivation areas that for

decades have impeded the transit of terrestrial wildlife. Tlálloc is located in the State of Mexico and Puebla (Fig. 1). The semi-cold climate predominates with an average temperature of 16.4 ° C and average annual rainfall of 612 mm (Astudillo-Sánchez et al., 2017). From 3,500 to 4,000 meters above sea level, the *Pinus hartwegii* forest is located.

The Nevado de Toluca (locally known as Xinantecatli with a height of 4,690 masl) of Late Pliocene – Holocene age, is located in the State of Mexico, and is separated from the mountains of Las Cruces and Chichinautzin (where the records of the volcano rabbits have been constant) by multiple depressions of up to 1,700 meters above sea level where various highways and multiple human settlements of large extensions run, with cultivation areas that for decades have impeded the transit of terrestrial wildlife (Fig. 1). Cold weather predominates with an average temperature of 14 ° C and average annual rainfall of 1212 mm (Arce et al., 2003). From 3,500 to the arboreal limit, the *Pinus hartwegii* forest is located.

110 Methods

In Tlálloc and Nevado de Toluca, sampling sites were established above 3 400 masl and contour lines were used as transects (BOLFOR et al., 2000), with an altitudinal separation of 100 m (Mayer & Ott, 1991). The sampling sites were circular, 0.1 ha (17.86 m radius), systematically distributed on each curve, at an equidistance of 300 m. We obtained from the minimum sampling intensity (recommended: 0.89%, achieved: 1.36%; Dauber, 1995), in order to determine the spatial distribution of the volcano rabbit.

The 2,441 sampling sites were installed for three years (April 2017-November 2020), in each one the UTM coordinates, altitude, slope and slope exposure (°) were recorded, and the dominant species or association of trees was indicated (those that presented a higher percentage of coverage within the site). In the field, plant species were identified at the species and / or genus level; Environmental variables were measured, such as percentage of occupation of the dominant herbaceous and shrub species, evidence of recent fire (<1 year), rocky areas (% coverage), proximity to roads and reference data of the sampling site (eg. reforestation, extraction, ravine, associated fauna). In addition, the trees were inventoried (≥ 7.5 cm of normal diameter), recording their normal diameter and total height.

125 Evidence of the volcanic rabbit was recorded through droppings, sightings, and carcasses. The abundance was estimated by latrine counts (group of 30 or more pellets) in a radius of 9.78 m (300 m²) within the sampling site. Later, in ArcGis Desktop software v. 10.8 (ESRI, 2019), an interpolation was carried out with the Natural Neighbor method (Sibson, 1981; Childs, 2004; Etherington, 2020) to calculate the area occupied by the species.

130 The vegetation data analysis was carried out using the CANOCO v. 4.5 (ter Braak, 2002), using the
Canonical Correspondence Analysis method with the Monte Carlo significance test, this in order to
form comparable plant communities between Monte Tlálloc and Nevado de Toluca. In addition, the
sampling sites with and without pellets were determined, a factorial analysis was performed with the
method of extraction of principal components with varimax rotation (Kaiser, 1974), in the SPSS
135 Statistics v. 26.0 (IBM Corp., 2019), considering the variables: altitude (masl), exposure and slope
(°), top of the trees and soil cover percentages (rock, herbaceous, shrub), fire, community, records of
Sylvilagus sp. and *R. diazi* (through latrines), reforestation (management practices) and proximity to
roads.

To evaluate habitat preferences, the observed frequency of the number of latrines in each plant
140 community was recorded and Pearson's chi-square goodness-of-fit test was applied to obtain the
expected frequencies. In addition, the significance of the variation was determined and, later, the
values of the observed frequency were subtracted minus the expected one, in order to obtain an index
of presence for each type of plant community (Monroy-Vilchis & Velázquez, 2002).

Results

145 634 sampling sites were installed, however, the presence of *R. diazi* was recorded in 67 sites (Fig. 2):
65 through latrines, 1 sighting and 1 carcass, mostly on the southwest slope, which covers 1,537 ha
of habitat use of the volcano rabbit in the sampled area.

In Tlálloc, four vegetation communities were recorded: 1. Pine forest of the heights-bunchgrass (65
SM with latrines); 2. Alder forest (2 SM with latrines); 3. Cedar forest and 4. Lesser-range
150 associations. While in the NT three communities: 1. Pine forest of the heights-bunchgrass; 2. Alder
forest and 3. Lesser-range associations (Fig. 3). On the other hand, the geological history of both
volcanic buildings highlights that Tlálloc arose after (800,000 years) from Nevado de Toluca, however,
the latter presented more recent eruptive activities (TABLE 4).

According to the number of latrines per surface, the abundance obtained of *R. diazi* in Tlálloc was
155 0.047 latrines / m². The altitudinal distribution range oscillates between 3,400 and 3,900 masl, with a
higher abundance between 3,700 and 3,800 masl ($p < 0.05$, 95% confidence), as well as in sites with
a recent fire record (25 sampling sites) and reforestation (12 sampling sites).

There was significant variation in the frequency of presence of volcano rabbit latrines among the
vegetation communities (Fig. 4). The pine forest of the heights-bunchgrass (98%) and the alder forest
160 (2%) were the communities where the frequency of presence was higher than expected; while in the
cedar and lower-ranking communities, the frequency of presence was zero.

In accordance with the principal component analysis, the relationships between the variables and the influence on each component (Fig. 5), the fire and reforestation variables are positively correlated with each other, that is, the presence of any of these in the forest of highland pine-bunchgrasses, increases the probability of finding *R. diazi* pellets.

For the Nevado de Toluca, we refer to the data reported in Monroy-Vilchis et al. (2020) where the results were presented where the inexistence of the volcano rabbit was proven.

Discussion

Velázquez (2012) affirms that there are particular conditions to find *Romerolagus diazi*, but what generates these conditions? Three characteristics that explain its presence: ecological (i.e., vegetation, physiographic), anthropic and historical (geoeological).

Recently, a study was carried out in Nevado de Toluca (Monroy-Vilchis et al., 2020) where the ecological characteristics are similar to those of the present study site. However, in the Nevado de Toluca, despite finding excrements morphologically attributable to *R. diazi*, its presence was not confirmed by phototrapping; therefore, it is assumed that the ecological conditions do not explain the distribution of the volcanic rabbit. Methodologically, in both areas (Nevado de Toluca and Tláloc), the distribution of the sites, as well as the intensity of sampling are comparable, so it was possible to make a comparison regarding the results obtained.

On the other hand, the historical characteristics can explain its distribution pattern, since it could have been derived as a consequence of the climatic changes of the Pleistocene (approx. Two million years ago), causing the populations to be isolated in the alpine regions (Montero, 2002). This hypothesis is based on the fact that Mexico is an area that has been subject to paleoclimatic and some tectonic changes in the recent past and that each succession of glacier advance and retreat events caused contraction, isolation, differentiation, speciation and later expansion. of the distribution areas of the new species (Luna-Vega, 2018).

In particular, the Nevado de Toluca and Tláloc, function as islands of terrestrial habitat for the volcano rabbit, separated by human development and landscape conversion, the theory of biogeography of the islands of MacArthur and Wilson (1967) is applied, which is based on the principle that large, connected islands support a greater diversity of species compared to small, isolated islands. Tláloc, arose 1.8 million years ago (Osuna et al., 2020), while the Nevado de Toluca, 2.6 million years ago (García-Palomo et al., 2002). This suggests that the connectivity that Tláloc presents with Iztaccihuatl (a large island in the habitat of the volcano rabbit), has a positive impact on its distribution. The Nevado de Toluca, on the other hand, does not present connectivity with any patch of its habitat, since

the surrounding matrix is not adequate and constitutes an effective barrier that limits the establishment and flow of genes (Ottaviani et al., 2019). In addition, the last eruptive activity of the Nevado de Toluca is more recent than that of Tlálóc, which means that, if at any time there was a presence of the species, said eruption could have been the cause of its local extinction, however and, according to Velázquez & Guerrero (2019), the native populations of this species have never existed in the Nevado de Toluca.

The new range of *Romerolagus* suggests that other endemic and / or threatened species, that share a habitat with the volcano rabbit, could be present in Tlálóc: Nine-banded armadillo (*Dasypus novemcinctus mexicanus*), gopher (*Pappogeomys merriami*), which are not distributed in the Nevado de Toluca, since their burrows are used by the volcano rabbit (Cervantes & Martínez, 1996). This study did not prove it since it was not its objective, however, it strengthens the hypothesis of the new distribution. It is worth mentioning that, in 178 sampling sites, an indirect record (pellets) of *Sylvilagus* sp. Was found, that is, in only 8% of the studied area both species coincide, which reinforces the hypothesis of parapatry of genera *Romerolagus* and *Sylvilagus* sp. of lagomorphs (Fa et al., 1992).

The results show that the presence and / or permanence of *Romerolagus diazi* in Tlálóc is related to some human activities, *i.e.* reforestation and in some cases fires. The first, because it feeds on the needles of *P. hartwegii* seedlings, due to the silica oxalate present in them (Cervantes et al., 1990). The second is that the fires favor the regrowth of tufted grasses and, consequently, the volcano rabbit moves towards these places to feed, this seems to generate the appropriate conditions for the repopulation of the species, contrasting the idea that the fire decreases the distribution potential of the volcano rabbit (Rizo-Aguilar et al., 2015).

The volcano rabbit presented higher frequency than expected in the pine forest of the heights-bunchgrass, (*Pinus hartwegii*-*Festuca* sp.-*Muhlenbergia* sp.), which coincides with Velázquez et al. (1996b) and Hunter & Cresswell (2015), who state that the volcano rabbit is a specialist in coniferous populations, particularly *P. hartwegii*. The absolute density of the volcano rabbit, in Tlálóc, obtained from the number of latrines / m² (0.0471 / m²), compared with other studies (Velázquez et al., 1996b; Vargas et al., 2013; Rizo et al., 2015), is relatively average. On the other hand, in terms of the surface it occupies in the studied localities of the Tlálóc (1,537 ha), its distribution is wide, in relation to other studies (CONANP, 2013), the above can be explained due to the intensity of sampling (1.36 %) and the systematic distribution of sampling sites.

225 Habitat loss remains one of the strongest threats to biodiversity today (Nettles et al., 2020) and, as
 urban areas continue to expand, it is imperative that conservation measures are taken, thus, a new
 strategy must be developed to protect the species, i.e., consider the effect of past climates on the
 current state of relict populations of the volcanic rabbit, this information as a tool to develop *in situ*
 or *ex situ* strategies (Jiménez-Alfaro et al., 2016). In addition, to evaluate the population fluctuations
 230 of the species (García et al., 2018), it is important to consider monitoring through the installation of
 permanent sites in those sampling sites that presented evidence of the volcano rabbit.

There are multiple implications in terms of conservation. The evidence concludes the presence in a
 new area of distribution, in Tlálóc, of enormous conservation potential. The absence in the Nevado
 de Toluca closes the controversy previously exposed by other authors (Monroy-Vilchis et al., 2020).
 235 The Tlálóc could represent a new core area to expand the current conservation area referred to as Izta-
 Popo National Park. The population of *R. diazi* in Tlálóc assumes that this new area must host a
 unique biological heritage since the volcano rabbit is always an umbrella species that is accompanied
 by many other endemic species that together represent an irreplaceable germplasm bank (Velázquez
 et al., 2011) Ongoing research on the population size of *R. diazi* and the potential for participatory
 240 landscape conservation to engage local actors as allies in conservation tasks (*sensu* Velázquez et al,
 2003) are still in process to be documented.

Author contributions AALG: study design, fieldwork, data analysis and wrote the manuscript.
 AREA: study design, fieldwork, cabinet methodology and writing. AV: conceptual design, fieldwork,
 245 information analysis and writing. LAGA: fieldwork, cartographic processing. OMV: conceptual
 design, information analysis.

Acknowledgements The study was funded by the project CONACYT-CONAFOR/A3-S-130105.
 We would like to acknowledge to the ejidatarios for his support and to the CONANP for their
 approval. Especially thank to High Mountain Group who assisted fieldwork.

250 **Conflicts of interest** None.

Ethical standards This research abided by the Oryx guidelines on ethical standards; did not involve
 human subjects and/or any animal experiments.

References

Anderson, B., Akçakaya, H., Aratijo, M., Fordham, D., Martinez, M., Thuiller, W. & Brook, B. (2009)
 255 Dynamics of range margins for metapopulations under climate change. *Proceedings of the
 Royal Society B*, 276, 1415–1420.

- Arce, J. L.; Macías, J. L.; Vázquez-Selem, L. (2003) "The 10.5 ka Plinian eruption of Nevado de Toluca volcano, Mexico: Stratigraphy and hazard implications". *Geological Society of America Bulletin*, 115 (2): 230–248.
- 260 BOLFORD, Mostacedo, B. & Fredericksen, T.S. (2000) *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. Santa Cruz de la Sierra.
- Cervantes, F. & Martínez, J. (1996) Historia natural del conejo conejo de los volcanes o teporingo (*Romerolagus diazi*). In *Ecología y conservación del conejo conejo de los volcanes y su hábitat* (eds A. Velázquez, F.J. Romero y P. López), pp: 29-40. D.F, México: FCE-UNAM.
- 265 Cervantes, F., Lorenzo, C. & Hoffmann, R. (1990) *Romerolagus diazi*. *Mammalian Species*, 360, 1–7.
- Childs, C. (2004) Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst. *ArcUser*, July-September, 3235(569), 32-35.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2013) Programa de Manejo Parque Nacional Iztaccihuatl Popocatepetl. México.
- 270 D'Antonio, M., Capra, L., Sarocchi, D., & Bellotti, F. (2008) Reconstrucción del evento eruptivo asociado al emplazamiento del flujo piroclástico El Refugio hace 13 ka, volcán Nevado de Toluca (México). *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 25(1), 115-134.
- 275 Dauber, E. (1995) Guía práctica y teórica para el diseño de un inventario forestal de reconocimiento. BOLFORD.
- Endara, A., Calderón, R., Nava, G. & Franco, M. (2013) Analysis of fragmentation processes in high-mountain forests of the centre of Mexico. *American Journal of Plant Sciences*, 4, 697-704.
- Esri Inc. (Environmental Systems Research Institute). (2016) ArcMap 10.8. Redlands, CA: Esri Inc.
- 280 Software.
- Etherington, T.R. (2020) Discrete natural neighbour interpolation with uncertainty using cross-validation error-distance fields, *PeerJ Computer Science*, 6, e282.
- Fa, J.E., Romero, F.J. & López, P. (1992) Habitat use by parapatric rabbits in a Mexican high-altitude grassland system. *Journal of Applied Ecology*, 29, 357–370.
- 285 García, F., Campos, M., Guerrero, E., Rizo, A., Brito, G. & Farías, G. (2018) Manual de monitoreo del conejo conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*): Procedimiento para estimar la densidad absoluta mediante conteo de excretas en transectos con parcelas. DGCORENA, DGZVS, SDS, CEPANAF, UNAM, UAEM.
- García, R.J.C., & Di Marco, M. (2020) Drivers and trends in the extinction risk of New Zealand's endemic birds. *Biological Conservation*, 249, 108730.
- 290

- García-Palomo, A., Macías, J.L., Arce, J. L., Capra, L., Garduño, V.H., & Espindola, J.M. (2002) Geology of the Nevado de Toluca volcano and surrounding areas, Central Mexico. México.
- García-Tovar, G.P., & Martínez-Serrano, R.G. (2011) Geología y geoquímica de las lavas pleistocénicas del estratovolcán Telapón, Sierra Nevada, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 28(2), 301-322
- 295 Hoth, J., Velázquez, A., Romero, F., Leon, L., Aranda, M. & Bell, D. (1987) The volcano rabbit: a shrinking distribution and a threatened habitat. *Oryx*, 21, 85-91.
- Hunter, H. & Cresswell, W. (2015) Factors affecting the distribution and abundance of the endangered volcano rabbit *Romerolagus diazi* on the Iztaccihuatl volcano, Mexico. *Oryx*, 49, 300 366-375.
- IBM Corp. (2019) IBM SPSS Statistics for Windows, Version 26.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Jiménez-Alfaro, B., García-Calvo, L., García, P. & Acebes, J. (2016) Anticipating extinctions of local relict populations in mountain refugia. *Biological Conservation* 201, 243-251.
- Kaiser, H.F. (1974) An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39, 31-36.
- 305 López, P., Romero, J. & Velázquez, A. (1996) Las actividades humanas y su impacto en el hábitat del conejo conejo de los volcanes. In: *Ecología y conservación del conejo conejo de los volcanes y su hábitat* (eds A. Velázquez, F.J. Romero & P. López), pp: 119-131. D.F, México, FCE-UNAM.
- Luna-Vega, I. (2018) Aplicaciones de la biogeografía histórica a la distribución de las plantas mexicanas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79, 217- 241.
- 310 MacArthur, R.H. & Wilson, E.O. (1967) The Theory of Island Biogeography. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Macías, J.L. (2005) Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57(3), 379-424.
- 315 Macías, J.L., García, P.A., Arce, J.L., Siebe, C., Espindola, J.M., Komorowski, J.C., & Scott, K. (1997) Late Pleistocene-Holocene cataclysmic eruptions at Nevado de Toluca and Jocotitlan volcanoes, central Mexico. *Brigham Young University Geology Studies*, 42(1), 493-528.
- Mayer, H. & Ott, E. (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.
- 320 Monroy-Vilchis, O. & Velázquez, A. (2002) Distribución regional y abundancia del lince (*Lynx rufus escuinape*) y el coyote (*Canis latrans cagottis*) por medio de estaciones olfativas: un enfoque espacial. *CIENCIA ergo sum* 9(3), 293-300.

- 325 Monroy-Vilchis, O., Luna-Gil, A.A., Endara-Agramont, A., Zarco-González, M.M. & González-Desales, G. (2020) Nevado de Toluca: habitat for *Romerolagus diazi*? *Animal biodiversity and conservation*, 43(1), 115- 121.
- Montero, I.A. (2002) Atlas Arqueológico de la Alta Montaña Mexicana. SEMARNAT-CONAFOR. México.
- 330 Murga-Cortés, A., Brito-González, D., Dirzo-Urbe, G., González-Zariñana, B., Rizo-Aguilar, A & Guerrero, J.A. (2020) Use of mitochondrial DNA from feces to evaluate the range of secretive species: the case of volcano rabbit. *Therya notes*. 1 (1), 50-53.
- Nettles, J.M., Brown, M.S., Drage, E., Islam, A. & Whitener, P.A. (2020) Habitat connectivity and island biogeography: A call for community-engaged scholarship to address isolated parks and protected areas. *Parks Stewardship Forum*, 36(3), 471-476.
- 335 Osuna, F., González, D., de los Monteros, E. & Guerrero, J. (2020) Phylogeography of the volcano rabbit (*Romerolagus diazi*): the evolutionary history of a mountain specialist molded by the climatic-volcanism interaction in the central Mexican highlands. *Journal of Mammalian Evolution*.
- 340 Osuna, F., Guevara, R., Martínez-Meyer, E., Alcalá, R. & de los Monteros, A.E. (2021) Factors affecting presence and relative abundance of the Endangered volcano rabbit *Romerolagus diazi*, a habitat specialist. *Oryx*, 1-10.
- Ottaviani, G., Keppel, G., Götzenberger, L., Harrison, S., Opedal, Ø. H., Conti, L., Liancourt, P., Klimešová, J., Silveira, A.O., Jiménez-Alfaro, B., Negoita, L., Doležal, J., Hájek, M., Ibanez, T., Méndez-Castro, F.E. & Chytrý, M. (2020) Linking plant functional ecology to island biogeography. *Trends in Plant Science*, 25(4), 329-339.
- 345 Primack, R.B. (2008) *A primer of conservation biology* (No. QH75 P74 2000). Sunderland: Sinauer Associates Inc., Sunderland, Massachusetts, USA. 349 pages.
- Rizo, A., Guerrero, J., Mihart, M. & 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.
- Rzedowski, J. (2006) 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Sibson, R. (1981) A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation. In *Interpolating Multivariate Data* (eds. W. John & Sons), pp. 21–36. Nueva York
- 350 Smith, Y.C.E., Smith, D.A.E., Ramesh, T. & Downs, C.T. (2020) Landscape-scale drivers of mammalian species richness and functional diversity in forest patches within a mixed land-use mosaic. *Ecological Indicators*, 113, 106176.

- Suárez, M., & Téllez, O. (2014) Red de áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad del eje volcánico transmexicano analizando su riqueza florística y variabilidad climática. *Polibotánica*, 38, 67-93.
- ter Braak, C.J.F. (2002) CANOCO. Version 4.5. Plant Research International, Wageningen University and Research Centre, Wageningen, The Netherlands.
- Uriostegui-Velarde, J.M., González-Romero, A., Pineda, E., Reyna-Hurtado, R., Rizo-Aguilar, A. & Guerrero J.A. (2018) Configuration of the volcano rabbit (*Romerolagus diazi*) landscape in the Ajusco-Chichinautzin Mountain Range. *Journal of Mammalogy*, 99(1), 263–272.
- Vargas, B.C., Contreras, R.V., Flores, H.D. & Díaz A.M. (2013) Condición actual de la población de *Romerolagus diazi* en Santa Rita Tlahuapan, Puebla. In *Memorias del XXI Congreso Nacional de Zoología 2013* (coord Sigala, R.). Aguascalientes, México.
- 370 Velázquez, A. & Guerrero, J.A. (2019) *Romerolagus diazi*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T19742A45180356.
- Velázquez, A. & Heil, G.W. (1996) Habitat suitability study for the conservation of the volcano rabbit (*Romerolagus diazi*). *Journal of Applied Ecology*, 33, 543–554.
- Velázquez, A. (1993) Man-made and ecological habitat fragmentation: study case of the volcano rabbit (*Romerolagus diazi*). *Zeitschrift für Saugetierkunde*, 58, 54-54.
- 375 Velázquez, A., Gerardo, B., Romero, F.J. & Pérez, V.A. (2003) A landscape perspective on biodiversity conservation: the case of Central Mexico. *Mountain Research and Development*, 23(3) 240-246.
- Velázquez, A., Larrazábal, A. & Romero, F.J. (2011) Del conocimiento específico a la conservación de todos los niveles de organización biológica. El caso del conejo de los volcanes y los paisajes que denotan su hábitat. *Investigación ambiental*, 3, 59-62.
- 380 Velázquez, A., Romero, F. & León, P. (1996a) Fragmentación del hábitat del conejo conejo de los volcanes. In *Ecología y conservación del conejo conejo de los volcanes y su hábitat* (eds A. Velázquez, F.J. Romero y P. López), pp: 73-86. D.F, México: FCE-UNAM.
- 385 Velázquez, A., Romero, F. & León, P. (1996b) Amplitud y utilización del hábitat del conejo conejo de los volcanes. In *Ecología y conservación del conejo conejo de los volcanes y su habitat* (eds A. Velázquez, F.J. Romero y P. López), pp: 89-101. D.F, México: FCE-UNAM.

FIGURE 1 Area of study: Monte Tlaloc and Cerro Telapón located in the Iztaccihuatl-Popocatepetl-
390 Zoquiapan National Park and annexes; Nevado de Toluca (Área de Protección de Flora y Fauna
Nevado de Toluca).

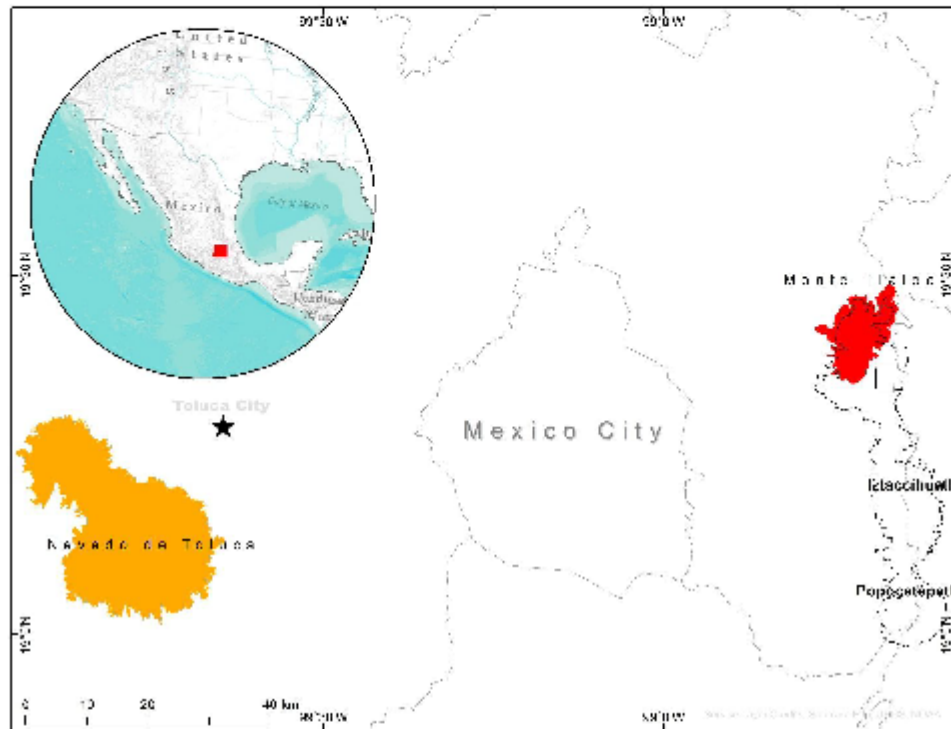


FIGURE. 2 Habitat utilized by *Romerolagus diazi* in Monte Tláloc, Mexico (1 537 ha) in different
395 plant communities. Areas with presence of *R. diazi*: 1) Low: 0.0026-0.0279 1 / m², 2) Medium:
0.0280-0.0532 1 / m², 3) High: 0.0533-0.1921 1 / m². Nevado de Toluca: 41 sites with excreta
attributable to the species in question.

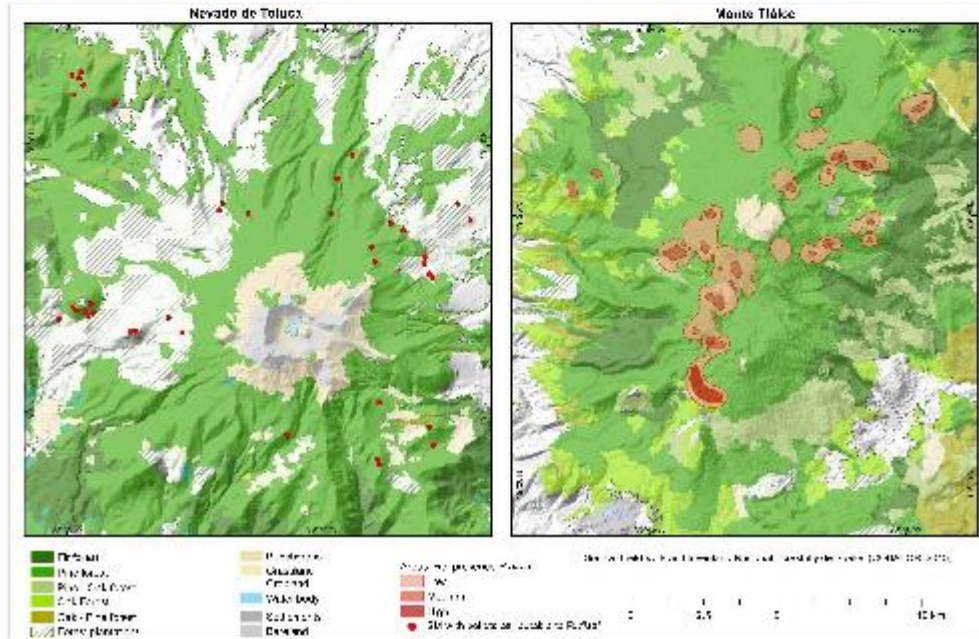
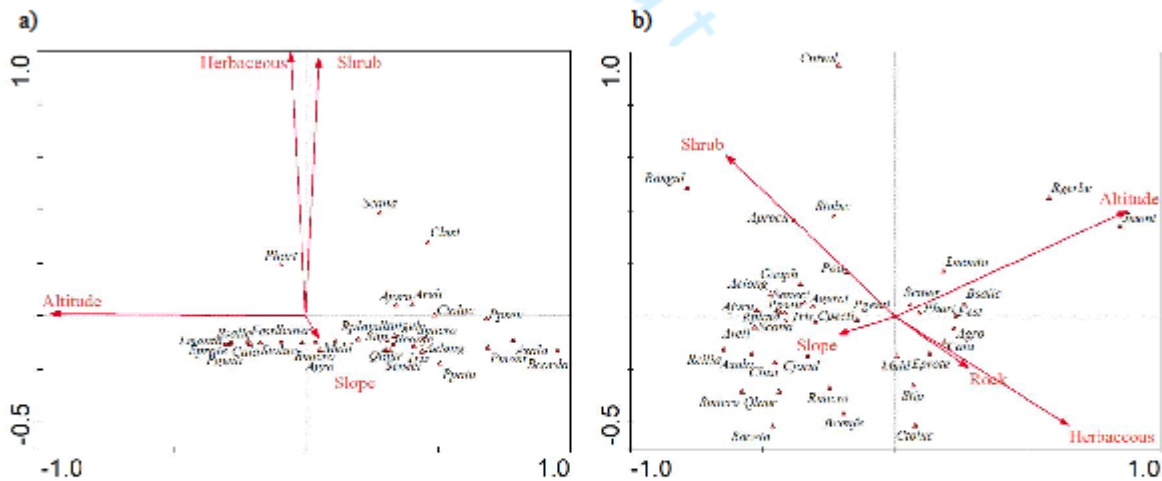


FIG. 3 Habitat type management diagram: a) NEVADO DE TOLUCA: 1. Pine forest of the heights-
 400 bunchgrass (Phart-Sciner-Fest-Bsalic-Lmonta-Agro-Cala-Eprote-Pgenti-Stoluc-Rmicro-Muhl):
*Pinus hartwegii-Senecio cinerarioides-Festuca-Barkleyanthus salicifolius-Lupinus montanus-
 Agrostis-Calamagrostis-Eryngium proteaflorum-Penstemon gentianoides-Senecio tolucanus- Ribes
 microphyllum-Muhlenbergia. 2. Alder forest (Ajour-Rplata-Ppatu-Seneci-Aelong-Ctolu-Smicro-
 Bconfe-Rangul-Stip-Qlaur-Tris-Areli): *Alnus jorullensis-Roldana platanifolia-Pinus patula-
 405 Senecio-Acaena elongata-Castilleja toluccensis- Symphoricarpos microphyllus-Baccharis conferta-
 Roldana angulifolia-Stipa-Quercus laurina-Trisetum-Abies religiosa* y 3. Lesser-range associations
 (Scana-Clusi): *Salix cana-Cupressus lusitanica, (Pmont-Axala-Bcord): Pinus montezumae-Arbutus
 xalapensis-Buddleja cordata. b) TLÁLOC: 1. Pine forest of the heights-bunchgrass (Phart-Sciner-
 Fest-Bsalic-Lmonta-Agro-Cala): *Pinus hartwegii-Senecio cinerarioides-Festuca- Barkleyanthus
 410 salicifolius-Lupinus montanus- Agrostis-Calamagrostis. 2. Alder Forest (Ajour-Rplata-Ppseu-
 Seneci-Scana-Aelong-Gnaph-Agerat-Tris-Areli): *Alnus jorullensis-Roldana platanifolia-Pinus
 pseudostrobus-Senecio-Salix cana-Acaena elongata-Gnaphalium-Ageratina pazcuarensis-Trisetum-
 Abies religiosa. 3. Cedar forest (Clusi-Axala-Cjorul-Rcilia-Qlaur-Smicro-Raceto-Rmicro-Bconfe):
 Cupressus lusitanica-Arbutus xalapensis-Cirsium jorullense-Ribes ciliatum-Quercus laurina-
 415 Symphoricarpos microphyllus-Rumex acetosella-Ribes microphyllum-Baccharis conferta y 4.
 Lesser-range associations (Jmont-Rgerbe): *Juniperus monticola-Robinsonecio gerberifolius,
 (Cnival-Rangul-Aprocu-Stoluc): Cirsium nivale-Roldana angulifolia-Alchemilla procumbens-
 Senecio toluccanus.*****



420 TABLE 1 Geological history of the volcanic buildings Nevado de Toluca and Monte Tláloc. Source: Macías et al., 1997; Montero, 2002; Macías, 2005; D'Antonio, 2008; García-Tovar, 2011; García-Palomo, 2015.

	Nevado de Toluca	Monte Tláloc
Type of volcano	Stratovolcano	Stratovolcano
Age	2.6 million years	1.8 million years
Eruptive activities	1. 2.6 - 1.15 million years 2. 42 000 and 10 500 years	1. 1.82 and 1.58 million years 2. 35 000 to 21 000 years

- 425 FIGURE 4 Difference of observed and expected frequencies of the sampling sites in Tlaloc. Positive values represent greater habitat preference for *R. diazi*, while negative values represent less habitat preference. $CC = 274.87$, $gl = 3$, $p < 0.05$.

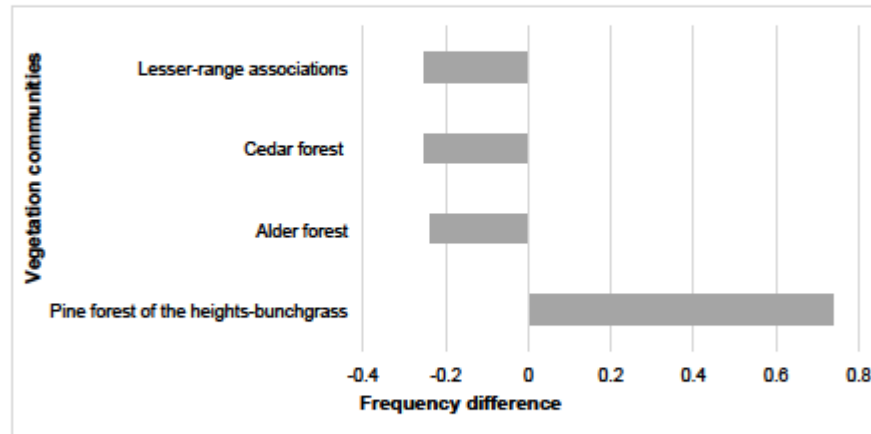
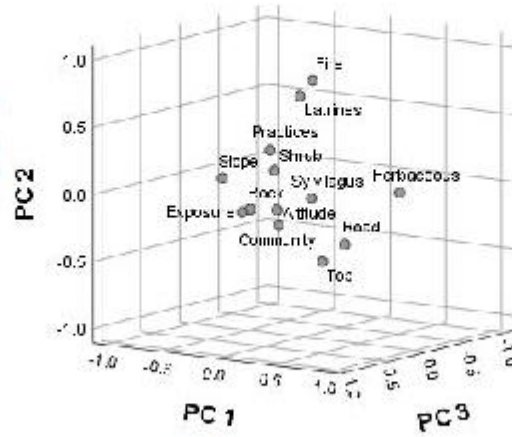


FIG. 5 Component weight graph (63% explained variance), the variables that show a positive influence towards the presence of *R. diazi* in Monte Tlálloc are fire, practices (reforestation) and percentage of shrub cover.



435

Submitted to journal

RESULTADOS ADICIONALES

Se instalaron 634 sitios de muestreo (Fig. 8), SM que cubren principalmente las laderas Oeste y Noroeste de la zona de estudio. El área ocupada por *Romerolagus diazi* es de aproximadamente 1 537 ha, es decir, 67 sitios presentaron letrinas y/o rastros (Anexo 2) con una media de 0.0466318 letrinas/m².

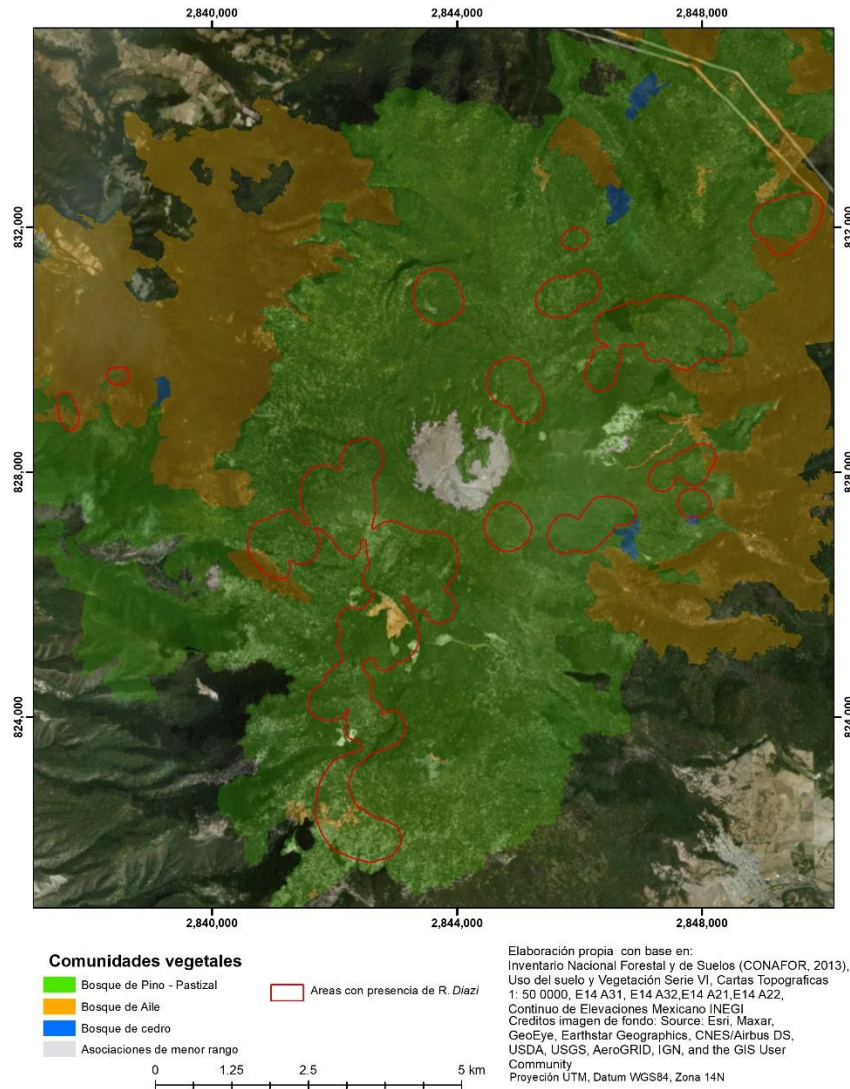


Figura 8. Área ocupada por *Romerolagus diazi* en las comunidades vegetales, monte Tláloc y cerro Telapón.

El estudio de las comunidades de plantas proporciona conocimientos clave para entender las relaciones ecológicas entre los componentes bióticos y abióticos del sistema, por esto, en monte Tláloc, se han conformado 4 comunidades vegetales (Cuadro 1): 1. Bosque de pino de

las alturas-pastizal (comunidad registrada en 499 SM), 2. Bosque de aile (113 SM), 3. Bosque de cedro (10 SM) y, 4. Asociaciones de menor rango (12 SM), para esto se consideraron solamente especies dominantes de cada estrato, formando así una comunidad. En total, se registraron 5 géneros pertenecientes a las gramíneas, y 19 especies arbustivas agrupadas en 6 familias: Asteraceae (12 especies), Fabaceae (únicamente una especie), Rosaceae (dos especies), Grossulariaceae (dos especies), Caprifoliaceae y Polygonaceae.

Cuadro 1. Diversidad de comunidades registradas en monte Tlálloc. Los datos sobre la estructura de los SM se utilizaron las especies/géneros representativos (dominantes) para describir los aspectos más comunes.

Comunidad vegetal	Estrato arbóreo	Estrato herbáceo	Estrato arbustivo
Bosque de pino de las alturas-pastizal	<i>Pinus hartwegii</i>	<i>Festuca</i> <i>Agrostis</i> <i>Calamagrostis</i> <i>Muhlenbergia</i>	<i>Senecio cinerarioides</i> <i>Barkleyanthus salicifolius</i> <i>Lupinus montanus</i>
Bosque de aile	<i>Alnus jorullensis</i> <i>Pinus pseudostrobus</i> <i>Salix cana</i> <i>Abies religiosa</i>	<i>Trisetum</i>	<i>Roldana platanifolia</i> <i>Senecio</i> spp. <i>Acaena elongata</i> <i>Gnaphalium</i> sp. <i>Ageratina pazcuarensis</i>
Bosque de cedro	<i>Cupressus lusitanica</i> <i>Arbutus xalapensis</i> <i>Quercus laurina</i>		<i>Cirsium jorullense</i> <i>Ribes ciliatum</i> <i>Symphoricarpos microphyllus</i> <i>Rumex acetosella</i> <i>Ribes microphyllum</i> <i>Baccharis conferta</i>
Asociaciones de menor rango	<i>Juniperus monticola</i>		<i>Robinsonecio gerberifolius</i> <i>Cirsium nivale</i> <i>Roldana angulifolia</i> <i>Alchemilla procumbens</i> <i>Senecio toluccanus</i>

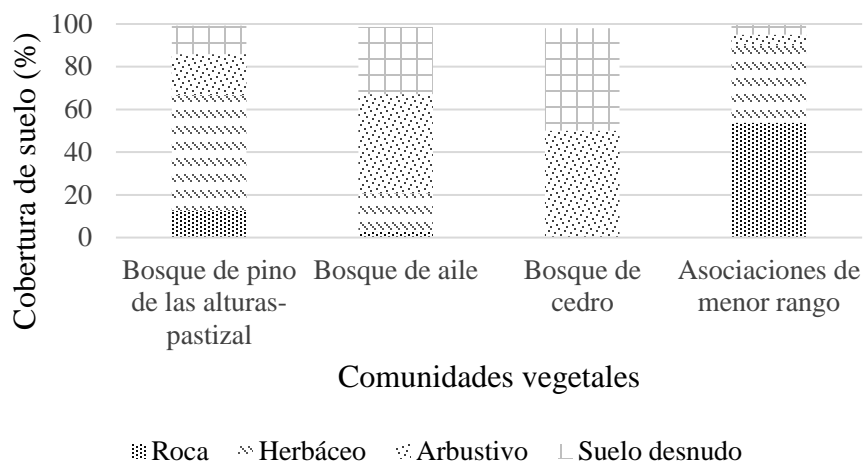
Respecto a las comunidades arbóreas, de acuerdo con la dominancia (número de individuos por especie en el SM), se registraron 36 asociaciones (Cuadro 2).

Cuadro 2. Asociaciones/poblaciones arbóreas presentes en monte Tláloc.

Especie	Asociación	Frecuencia
<i>Alnus jorullensis</i>	<i>A. jorullensis</i> - <i>A. religiosa</i>	2
	<i>A. jorullensis</i> - <i>A. religiosa</i> - <i>P. hartwegii</i>	1
	<i>A. jorullensis</i> - <i>A. religiosa</i> - <i>P. pseudostrobus</i>	1
	<i>A. jorullensis</i> - <i>P. hartwegii</i>	6
	<i>A. jorullensis</i> - <i>P. hartwegii</i> - <i>A. religiosa</i>	2
	<i>A. jorullensis</i> - <i>P. pseudostrobus</i> - <i>A. religiosa</i>	2
<i>Abies religiosa</i>	<i>A. religiosa</i>	45
	<i>A. religiosa</i> - <i>A. jorullensis</i>	3
	<i>A. religiosa</i> - <i>A. jorullensis</i> - <i>P. hartwegii</i>	4
	<i>A. religiosa</i> - <i>A. jorullensis</i> - <i>Quercus</i>	1
	<i>A. religiosa</i> - <i>A. jorullensis</i> - <i>S. cana</i> - <i>P. hartwegii</i>	1
	<i>A. religiosa</i> - <i>A. xalapensis</i> - <i>P. hartwegii</i>	1
	<i>A. religiosa</i> - <i>P. hartwegii</i>	30
	<i>A. religiosa</i> - <i>P. hartwegii</i> - <i>A. jorullensis</i>	9
	<i>A. religiosa</i> - <i>P. hartwegii</i> - <i>A. jorullensis</i> - <i>A. xalapensis</i>	1
	<i>A. religiosa</i> - <i>P. hartwegii</i> - <i>C. lusitancia</i>	1
	<i>A. religiosa</i> - <i>P. hartwegii</i> - <i>P. pseudostrobus</i>	1
	<i>A. religiosa</i> - <i>P. pseudostrobus</i> - <i>A. jorullensis</i> - <i>Quercus</i>	1
	<i>A. religiosa</i> - <i>Quercus</i> - <i>P. hartwegii</i>	1
<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>C. lusitancia</i> - <i>A. religiosa</i> - <i>A. xalapensis</i>	1
<i>Pinus hartwegii</i>	<i>P. hartwegii</i>	444
	<i>P. hartwegii</i> - <i>A. jorullensis</i>	11
	<i>P. hartwegii</i> - <i>A. jorullensis</i> - <i>A. religiosa</i>	5
	<i>P. hartwegii</i> - <i>A. religiosa</i>	27
	<i>P. hartwegii</i> - <i>A. religiosa</i> - <i>A. jorullensis</i>	7
	<i>P. hartwegii</i> - <i>A. religiosa</i> - <i>A. xalapensis</i>	1
	<i>P. hartwegii</i> - <i>A. religiosa</i> - <i>P. patula</i>	1
	<i>P. hartwegii</i> - <i>A. religiosa</i> - <i>P. pseudostrobus</i>	1
	<i>P. hartwegii</i> - <i>A. religiosa</i> - <i>Quercus</i>	2
	<i>P. hartwegii</i> - <i>A. religiosa</i> - <i>S. cana</i> - <i>A. xalapensis</i>	1
	<i>P. hartwegii</i> - <i>J. monticola</i>	4
	<i>P. hartwegii</i> - <i>P. pseudostrobus</i>	1
	<i>P. hartwegii</i> - <i>Quercus</i>	5
<i>P. hartwegii</i> - <i>Quercus</i> - <i>A. jorullensis</i>	1	
<i>Pinus pseudostrobus</i>	<i>P. pseudostrobus</i> - <i>P. hartwegii</i> - <i>A. jorullensis</i>	1
Zacatonal	Zacatonal	8

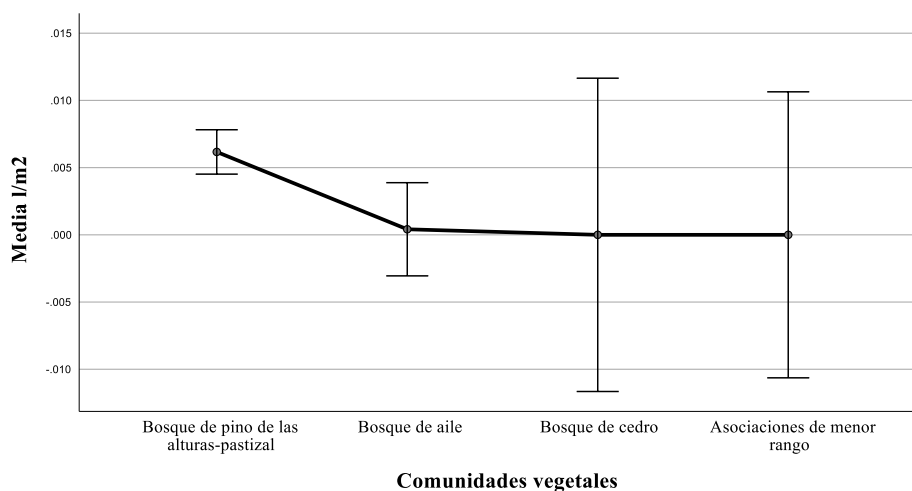
Tomando en cuenta el valor de porcentaje de cobertura de suelo, es decir, los 2 estratos de vegetación estudiados (herbáceo y arbustivo), aunado al porcentaje de cobertura rocosa, así como de suelo desnudo, y de acuerdo con las comunidades resultantes, se realizó un gráfico que permite diferenciar el porcentaje de ocupación de suelo de los estratos y/o capas

consideradas (Gráfica 1). Cabe aclarar que en la comunidad “Bosque de pino de las alturas-pastizal”, el suelo desnudo incrementa en algunos SM debido a incendio reciente.



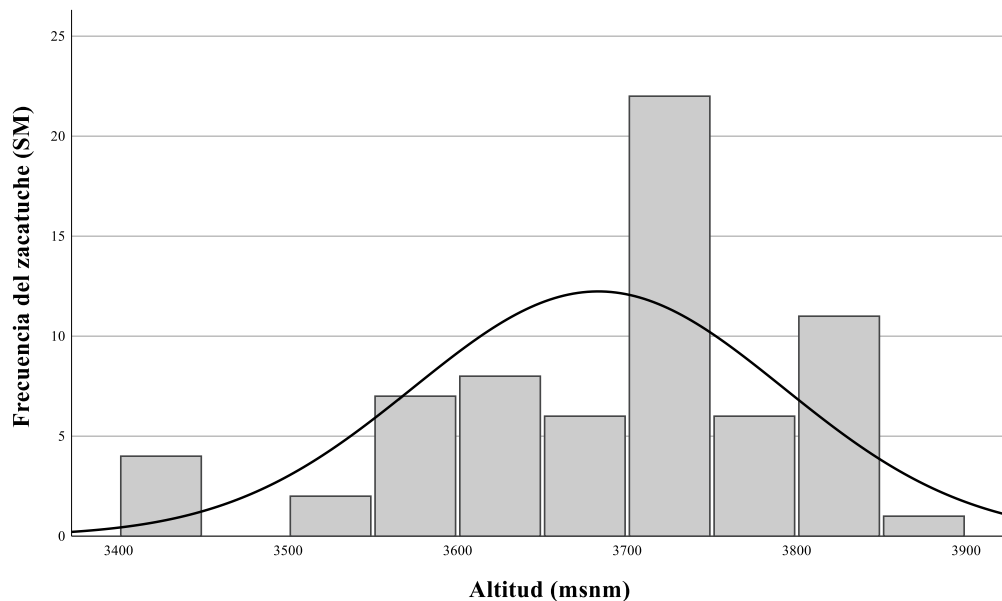
Gráfica 1. Fisionomía y estructura de las comunidades del monte Tláloc, México. El eje Y muestra el porcentaje de cobertura de cada estrato por comunidad. En algunas comunidades, no se observa cobertura total, ya que el restante pertenece al área basal que ocupa el estrato arbóreo.

De un total de 634 SM, en 67 sitios se registraron letrinas atribuibles a *Romerolagus diazi*. Se utilizó el número de letrinas cuantificadas dentro de cada SM (l/m^2) para determinar la media de cada comunidad vegetal (Gráfica 2). Las comunidades que presentaron letrinas fueron exclusivamente bosque de aile y bosque de pino de las alturas-pastizal, este último con mayor número de letrinas.



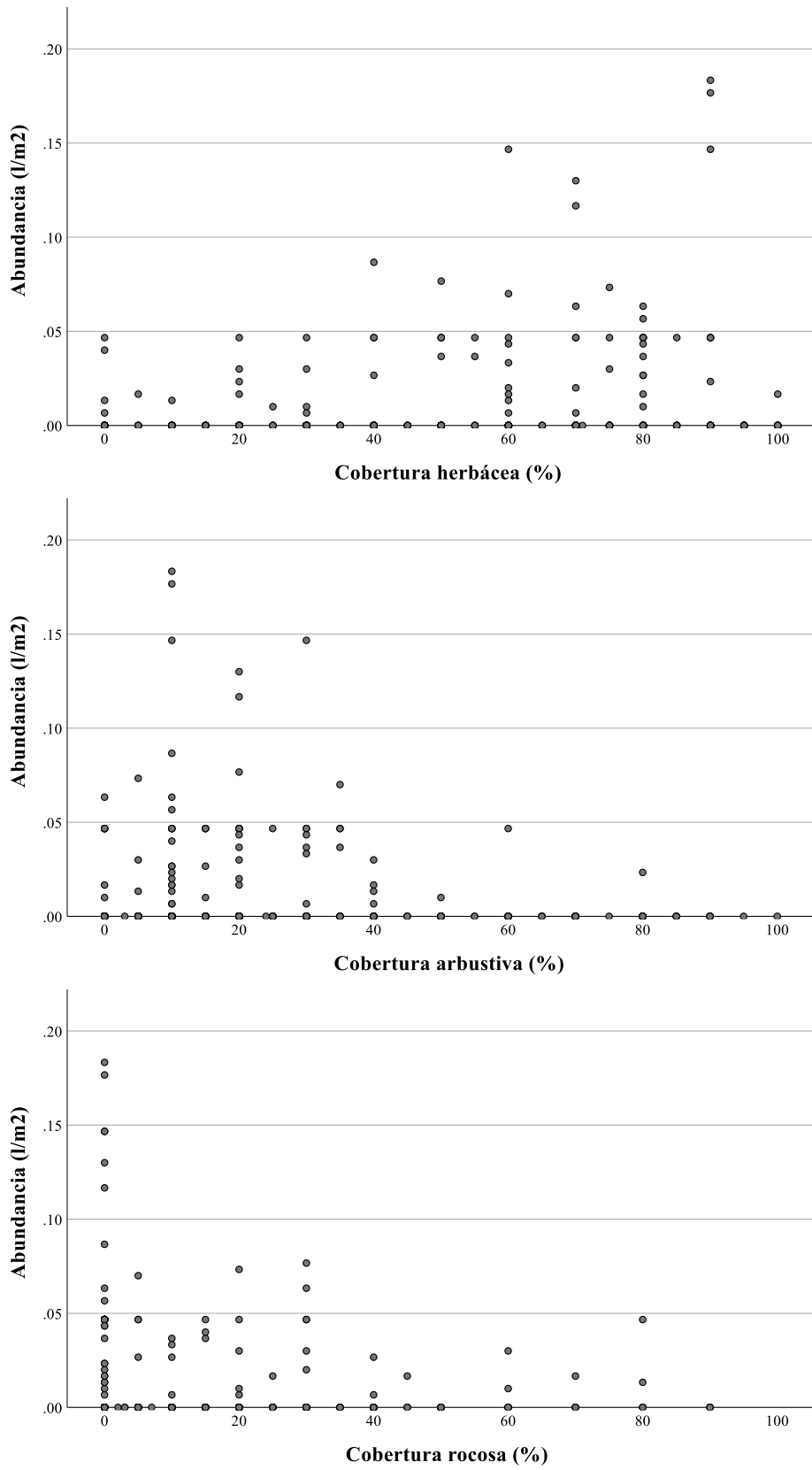
Gráfica 2. Media del número de letrinas en cada SM (l/m^2) respecto a las comunidades vegetales. Nivel de confianza: 95%.

Respecto a la fauna asociada, en el 25% de los sitios que mostraron presencia de zacatuche, también se registraron excretas de *Sylvilagus* spp. La altitud en la que se registró el zacatuche va desde los 3 400 hasta los 3 900 msnm, con mayor frecuencia en el rango de 3 600-3 800 m de altitud (Gráfica 3).



Gráfica 3. Frecuencia de SM con presencia del zacatuche respecto a la altitud (msnm).

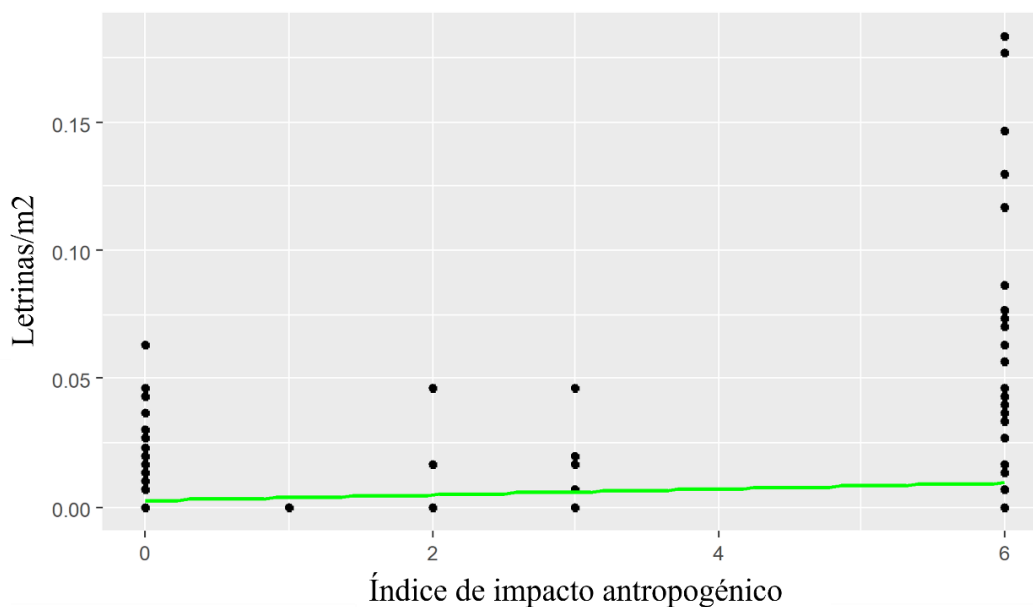
La cobertura de suelo determina en gran medida la abundancia del conejo zacatuche, ya que se registraron mayores hacinaamientos de abundancias en sitios con cobertura herbácea >60%, por el contrario, se observaron abundancias altas en coberturas arbustivas <40%, mientras que hay mayores hacinaamientos de abundancia en coberturas rocosas <30% (Gráfica 4).



Gráfica 4. Abundancia del zacatuche de acuerdo con la cobertura de suelo: herbácea, arbustiva y rocosa.

El bosque de pino abierto es aquel cuya cobertura de copa oscila entre 10 y 40 %, mientras que las coberturas mayores al 40 % constituyen el bosque de pino cerrado (Granados-Sánchez *et al.* 2007). De acuerdo con lo anterior, el zacatuche mostró preferencia por el bosque de pino abierto con 52 SM, seguido del bosque de pino cerrado con 10 SM y finalmente árboles aislados (<10% de cobertura de copa) con tan solo 5 SM.

Además de características ambientales, el conejo zacatuche se asocia a sitios que no presenten alguna perturbación o bien a sitios con índice de impacto antropogénico de 6 (Gráfica 5), esto se debe a que, en la mayoría de los SM con rastros de la especie, también se observó reforestación e incendio, el primero se relaciona posiblemente debido a su uso como alimento (Anexo 3) y, el segundo a que los incendios favorecen el rebrote del zacatonal.



Gráfica 5. Índice de impacto antropogénico con relación a la abundancia del zacatuche (letrinas/m²).

DISCUSIÓN

La distribución del conejo volcánico se restringe a cuatro áreas discontinuas (Popocatepetl, Iztaccíhuatl, El Pelado y volcán Tláloc) y varias de ellas a su vez están muy fragmentadas (Paulo *et al.* 2008). Por lo tanto, monte Tláloc, ubicado en Sierra Nevada, representa un nuevo registro de *Romerolagus diazi* que modifica sustancialmente el rango de distribución (Hoth *et al.* 1987; SEMARNAT 2018), se localiza al noroeste de su distribución ya conocida. Su presencia fue confirmada debido a que las comunidades vegetales encontradas en dicha área no difieren en gran medida a su preferencia de hábitat.

El método utilizado para obtener la densidad absoluta del zacatuche mediante el conteo de excretas, difiere al propuesto por García *et al.* (2018), este último es dirigido a áreas en las que ya se tienen registros de la especie y se establecen sitios permanentes, mientras que en el presente estudio se establecieron transectos y SM sistemáticos en busca de rastros del conejo zacatuche, lo cual permitió ampliar sustancialmente su área de distribución conocida. Los SM en los que se registraron evidencia de su presencia, son sitios potenciales para su posterior monitoreo.

Las comunidades vegetales registradas en monte Tláloc: bosque de pino de las alturas-pastizal, bosque de aile, bosque de cedro y asociaciones de menor rango (enebro), se relacionan con la vegetación de una zona núcleo de distribución del zacatuche (Ajusco-Chichinautzin): bosques de pinos, robles y abetos, y zacatonales (Uriostegui-Velarde *et al.* 2018), además del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl: pino-abeto, pino, zacatonal y pastizal alpino y subalpino (CONANP 2018), lo cual sugiere que el monte Tláloc tiene una calidad de hábitat o condición que lo hace similar de otros lugares. Sin embargo, lo que difiere la vegetación de monte Tláloc a las antes mencionadas pudiera deberse a que la conformación de comunidades vegetales incluyó criterio de vecindad, es decir, cuáles comunidades son siempre vecinas y todas aquellas que estén juntas también tendrán alta probabilidad de ser vistas o representadas como parte de un grupo, producto de que están siendo contiguas.

A pesar de que las comunidades vegetales reportadas en el presente estudio son un artificio de cómo organizamos la información de las especies que, fisionómicamente y en cuanto a composición tienen cierta relevancia, pero no así para la especie, gracias a la prueba de ji-cuadrada modificada, en la que hay un margen que define cuáles son los hábitats que usa la especie más de lo esperado o menor a lo esperado, se logró observar una clara preferencia por el bosque de pino de las alturas-pastizal, lo cual coincide con lo ya reportado, es decir, *Pinus hartwegii*-zacatonal alpino, este último principalmente de los géneros *Festuca* y *Muhlenbergia* (Velázquez *et al.* 1996b; Rizo-Aguilar *et al.* 2015; Osuna *et al.* 2021).

En cuanto a la cobertura de suelo, la probabilidad de registrar conejos volcánicos se asoció con una densa cobertura de zacatón, en un rango de 60-90% de cobertura la abundancia fue alta, mientras que si la cobertura es <40%, la abundancia del zacatuche se reduce considerablemente, lo cual coincide con Osuna *et al.* (2021), quienes afirman que la abundancia es mayor en aquellos parches que presentan cobertura de zacatón >75%, ya que el zacatonal funge como refugio (Rizo-Aguilar *et al.* 2015) además de alimento pues representa >50% de la dieta del conejo volcánico (Cervantes 1992). La cobertura arbustiva idónea para el zacatuche oscila entre 10 y 30%, ya que durante épocas de duras condiciones ambientales (invierno frío y sequía) en las que el zacatón escasea, aumenta el consumo de arbustos: los arbustos comprenden el 1.3% de su dieta en la época de lluvias y hasta un 12.8% en la época de sequía (Cervantes y Martínez 1992).

Los sitios con sustrato rocoso son preferidos por el zacatuche (Velázquez 1996; Cervantes y Martínez, 1992), pues el presente estudio no fue la excepción ya que la probabilidad de encontrar un individuo fue más alta donde la cubierta de roca era 0-20%, datos similares a lo reportado por Osuna *et al.* (2021), donde registra mayor abundancia en cobertura rocosa que va desde el 5 al 15%, puesto que se pueden encontrar nidos de zacatuche en oquedades entre las rocas (Rangel 2008), si la cobertura de roca es mayor a estos porcentajes, reduce el espacio al zacatonal y, por tanto, la dieta del zacatuche, así como la protección de depredadores.

Las condiciones de hábitat antes mencionadas, se pueden observar a altitudes mayores a 3600 msnm, precisamente donde la especie presenta mayor abundancia (3 600-3 800 msnm), la amplitud altitudinal de la zona de estudio es mayor a la de otros estudios: 3 400-3 550 msnm en el volcán Pelado (Fa *et al.* 1992), altitud media de 3 151 msnm en Sierra Chichinautzin y

3 636 en Sierra Nevada. Dichas diferencias altitudinales podrían ser debido a que las condiciones en Sierra Chichinautzin favorecieron la expansión genética, mientras que en Sierra Nevada ocurrió una contracción (Osuna *et al.* 2020), además de que las condiciones ambientales idóneas para el conejo volcánico se dan en diferentes pisos altitudinales según la montaña y su altitud máxima.

Sylvilagus spp. y *Romerolagus diazi* seleccionan diferentes hábitats en la zona de simpatria donde ocurren (Fa *et al.* 1992), por tal motivo, solo el 25% de los sitios en los que existe evidencia del conejo volcánico, hay registros de *Sylvilagus* también, los datos igualmente apuntan a que la selección del hábitat en ambos géneros está influenciada por la presencia del otro, pues seleccionan diferentes hábitats en la zona de simpatria donde ocurren, ya que los hábitats aceptables para ambos géneros son aquellos que se encuentran en los rangos más altos de cobertura vegetal para el conejo volcánico, mientras que *Sylvilagus* con mayor amplitud ecológica. No obstante, la intensidad de las interacciones competitivas puede verse disminuida por la división temporal, ya que el zacatuche es en gran medida diurno (Rangel 2008) y *Sylvilagus* prefiere las horas crepusculares. Lo cual tiene como consecuencia que, debido a los hábitos del zacatuche, la probabilidad de encontrar a individuos de esta especie sea menor.

Aunque se ha reportado que existen zonas donde coincide en sus patrones de uso de hábitat con otras especies (SEMARNAT 2018), tales como el ratón de los volcanes (*Neotomodon alstoni*; Álvarez-Castañeda & Castro-Arellano 2016), tuza (*Cratogeomys merriami*; Álvarez-Castañeda, Lacher & Vázquez 2016), salamandra pinta (*Aquiloerycea cephalica*; IUCN 2020) y camaleón de montaña (*Phrynosoma orbiculare*; Mendoza-Quijano *et al.* 2007), todos con distribución limitada (escaso movimiento o dispersión), no obstante, en el presente estudio solo se observó relación con las dos primeras, probablemente porque la salamandra pinta y el camaleón de montaña, se encuentran en altitudes menores a donde se registró mayor abundancia de zacatuche.

La proximidad de las elevaciones volcánicas (monte Tláloc y cerro Telapón) a la megalópolis de México conduce a modificaciones severas del hábitat (Osuna *et al.* 2021). La presión antropogénica es fuerte en la zona, el incremento de la población y ocupación genera condiciones de estrés en el bosque y la consiguiente pérdida de suelo y desequilibrio en el

sistema natural (Espinosa *et al.* 2014). Si bien, gran parte de esta población no se encuentra ubicada sobre las laderas o piedemonte, ejerce presión sobre los recursos del monte, como es el caso del suministro del agua, extracción de recursos forestales, explotación masiva de los bancos (Guerrero, 2020); además de sobrecarga de visitantes, contaminación por exceso de desechos, propensión a incendios y erosión alta (Lugo *et al.* 2020).

La explotación forestal se ha desarrollado de manera considerable y con diferentes intereses que han dejado al bosque en condiciones de fitoestabilidad y un dosel que varía de 5 a 40% (Espinosa *et al.* 2014), curiosamente, el zacatuche prefiere bosques de pino con un dosel abierto, es decir, aquellos con cobertura de copa entre 10 y 40 %.

Otra presión antropogénica es la construcción de infraestructura carretera y de caminos, afectando gravemente la vida silvestre al generar pérdida y degradación de los ecosistemas, así como la fragmentación y pérdida de conectividad natural (Guerrero 2020), y ya que el zacatuche muestra un patrón de distribución espacial discontinuo análogo a un archipiélago, las medidas a tomar deben ser focalizadas a aquellos mamíferos de tamaño pequeño, aún más si el zacatuche es especialista de hábitat (Velázquez *et al.* 2001).

En el bosque de pino y aile son comunes el pastoreo de ganado, los incendios forestales y la extracción clandestina de madera debido a que se localiza en las inmediaciones de uno de los complejos urbanos más grandes del mundo (Sánchez-González *et al.* 2006). El pastoreo afecta directamente la cobertura del zacatón (Osuna *et al.* 2021) y, por ende, a la abundancia del zacatuche, por lo que se sugiere aumentar la capacidad para hacer cumplir la ley, educación ambiental y el establecimiento de programas de protección. Además, se relacionó el pastoreo con los incendios, lo cual coincide con Osuna *et al.* (2021), quienes mencionan que las altas tasas de incendios también están asociadas con el pastoreo ya que la quema prescrita durante la estación seca estimula el rebrote de los pastos para el ganado.

Estos incendios forestales son otro factor de presión al provocar eliminación de biomasa vegetal, aunque dichos fenómenos ocurren de manera natural y constituyen un factor importante para la dinámica de muchos ecosistemas forestales, en la actualidad y debido en gran parte a las actividades humanas, sus patrones de ocurrencia han cambiado (Guerrero 2020), en al menos el 25% de la zona estudiada se observó incendio reciente, donde el

zacatuche mostró preferencia por dicha zona, esto puede deberse al desarrollo de *Lupinus montanus* que ofrece cobertura de protección y, aunado a esto, el rebrote del zacatón (libre de oxalatos y silicatos) brinda una oportunidad de alimento (Rangel 2008), por otro lado, las especies con baja capacidad de movimiento como el conejo volcánico, mueren a consecuencia de los incendios (Guerrero 2020).

Si bien es notorio que, en sitios con reforestación ocurre un incremento de la abundancia del zacatuche pues se logró observar evidencia que se alimenta de las plántulas de *Pinus hartwegii*, lo cual ofrece una explicación parcial de esta relación, no obstante, no deja de ser una actividad antropogénica, poniendo en una situación crítica a la especie.

Aunado a esto y recientemente, el cambio climático es considerado un factor de presión para la conservación de los ecosistemas y sus especies (Guerrero 2020), además de que sus efectos provocarán cambios en la distribución de muchas especies, tanto de animales como de plantas. El hábitat del zacatuche, es decir, el bosque subalpino actual de *Pinus hartwegii* aunque está protegido en 86.5% por las áreas naturales protegidas que se encuentran en el Eje Neovolcánico Transversal, no está exento de los efectos del cambio climático (Astudillo-Sanchez *et al.* 2017).

Los modelos a futuro prevén que la temperatura promedio anual en el bosque de *P. hartwegii* aumente entre 0.7 °C y 2.1 °C, antes tales cambios, *P. hartwegii* estaría obligado a desplazarse entre 100 m y 500 m altitudinales (Manzanilla-Quiñones *et al.* 2019). En otras palabras, el clima en la zona donde habita el zacatuche, definitivamente está cambiando, aumentando la temperatura (principalmente la mínima) y la precipitación, lo cual implica una pérdida altitudinal de su área de distribución (Domínguez 2007).

CONCLUSIONES

Las variables ambientales explicativas de la distribución en monte Tláloc del conejo zacatuche son la comunidad vegetal y la cobertura de suelo. Respecto a la primera, se asocia principalmente al bosque de pino de las alturas-pastizal, esto es, *Pinus hartwegii* y zacatón de los géneros *Festuca* y *Muhlenbergia*.

El zacatón con cobertura densa define la idoneidad del hábitat del conejo zacatuche con una cobertura herbácea entre 60 y 90%, mientras que de cobertura rocosa 0-20%, pues en zonas con estas condiciones su abundancia aumenta considerablemente; además de que prefiere sitios con bosque de pino abierto, es decir, aquellos con una cobertura de copa que va desde 10 a 40 %.

Monte Tláloc representa un área de distribución del zacatuche con aproximadamente 1 537 ha, sin embargo, esta zona enfrenta cambios debido al cambio climático, aunado a la presión antropogénica: extracción de recursos forestales, sobrecarga de visitantes, propensión a incendios y erosión alta. A pesar de esto, el zacatuche se registró en sitios que presentan tanto incendio reciente como reforestación, esto debido a que el incendio conduce al rebrote del zacatón, que de igual forma que las plántulas de pino son alimento para el conejo volcánico.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Castañeda, S.T. & Castro-Arellano, I. (2016). *Neotomodon alstoni*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T14600A22345400.
- Álvarez-Castañeda, S.T., Lacher, T. & Vázquez, E. (2016). *Cratogeomys merriami*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T16028A22217011.
- Anderson, B., H. Akçakaya, M. Araújo, D. Fordham, M. Martinez, W. Thuiller & B. Brook. (2009). Dynamics of range margins for metapopulations under climate change. *Proceedings of the Royal Society B*, 276: 1415–1420.
- Aranda, S. (2012). Manual para el rastreo de mamíferos silvestres de México. CONABIO. México.
- Astudillo-Sanchez, C., Villanueva-Díaz, J., Endara Agramont, A., Nava Bernal, G. & Gómez Albores, M. (2017). Influencia climática en el reclutamiento de *Pinus hartwegii* Lindl. del ecotono bosque-pastizal alpino en Monte Tláloc, México. *Agrociencia*, 51 (1): 105-118.
- Bobbink, R., G. W. Heil, & B. Verduyn. (2003). Main-induced changes cover in the Iztaccihuatl-Popocatepetl Region. Ecology and Man in Mexico Central Volcanoes Area, vol 1. Kluwer Academic Publishers, Países Bajos, pp. 49-71.
- Cervantes, F. & Martínez, J. (1992). Food habits of the rabbit *Romerolagus diazi* (Leporidae) in central Mexico. *Journal of Mammalogy*, 73 (4): 830-834.
- Cervantes, F. & Martínez, J. (1996). Historia natural del conejo zacatuche o teporingo (*Romerolagus diazi*). En: Velázquez, A., F. J. Romero y P. López. (Comp.), Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat. D.F, México: FCE-UNAM.
- Cervantes, F., C. Lorenzo & R. Hoffmann. (1990). *Romerolagus diazi*. *Mammalian Species*, 360: 1–7.

- Chávez-León, G. (2014). Las codornices de bosques y selvas. retos de manejo y conservación de la fauna silvestre. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(23): 6-21.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2008). Programa de Conservación y Manejo del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl. CONANP, México.
- Dauber, E. (1995). Guía práctica y teórica para el diseño de un inventario forestal de reconocimiento. BOLFOR.
- Domínguez, P. A. (2007). Efecto del cambio climático en la distribución del conejo endémico de México *Romerolagus diazi* (Lagomorpha: Leporidae). Tesis de licenciatura. UNAM, México.
- Duncan, R. P., K. M. Colhoun & 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.
- Endara, A., R. Calderón, G. Nava & M. Franco. (2013). Analysis of fragmentation processes in high-mountain forests of the centre of Mexico. *American Journal of Plant Sciences*, 4: 697-704.
- Espinosa, R. L., Carreto, B. F., Balderas, P. M., & Juan, P. J. (2014). Pérdida Histórica de Hemerofobia y Estrategia de Recuperación en el Nevado de Toluca. En: Loera, C. P., Iwaniszewski, S., & Cabrera, R. (Coord.). América Tierra de montañas y volcanes III (pp. 261-280). Ciudad de México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Fa, J. E., Romero, F. J. & López-Paniagua, J. (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.
- García, F., Campos, M., Guerrero, E., Rizo, A., Brito, G. & Farías, G. (2018). Manual de monitoreo del conejo zacatuche (*Romerolagus diazi*): Procedimiento para estimar la densidad absoluta

mediante conteo de excretas en transectos con parcelas. DGCORENA, DGZVS, SDS, CEPANAF, UNAM, UAEM.

González-Cubas, R., Treviño-Garza, E. J., Aguirre-Calderón, O. A., & Foroughbakhch-Pournavab, R. (2020). Distribución potencial de *Abies vejarii* (Pinaceae) y su relación con factores ambientales, topográficos y antropogénicos en el noreste de México. *Acta Botanica Mexicana*, 127: e1607.

Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. F. & Hernández-García, M. A. (2007). Ecología y silvicultura en bosques templados. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 13(1): 67-83.

Guerrero, E. (2020). Factores de presión a la biodiversidad. En: Cruz, A., Nájera, C., López, H., Melgarejo, D., González, F., Maldonado, K., Cenicerros, F., & Fuentes, V. (Coord.). *La biodiversidad en Morelos. Estudio de Estado 2*. México: CONABIO, UAEM, SDSE, CEBM.

Hoth, J., Velázquez, A., Romero, F., Leon, L., Aranda, M. & Bell, D. (1987). The volcano rabbit: a shrinking distribution and a threatened habitat. *Oryx*, 21, 85-91.

Hunter, H. & W. Cresswell (2015). Factors affecting the distribution and abundance of the endangered volcano rabbit *Romerolagus diazi* on the Iztaccihuatl volcano, Mexico. *Oryx*, 49: 366-375.

IUCN SSC Amphibian Specialist Group. (2020). *AquiloEURYCEA cephalica*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T59373A53990250.

Jardel, P. (2015). Guía para la caracterización y clasificación de hábitats forestales. CONAFOR, SEMARNAT, PNUD. México.

Kaiser, H. F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39: 31-36.

- López, P., Romero, J. & Velázquez, A. (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: FCE-UNAM.
- Lorenzo, M. C. & Ruiz, J. M. (2013). Conociendo y conservando a los lagomorfos mexicanos. *Ecofronteras*, 47(1), 22-25.
- Lugo, S. M., Valdivia, A. R., Hernández, O. J., Monroy, H. R., Sandoval, R. F. & Contreras, C. (2020). Valoración económica de los servicios ambientales del Monte Tláloc, Texcoco, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 11 (61): 176-195.
- Luna, G. A. (2017). Caracterización de sitios potenciales para reintroducción de *Romerolagus diazi* en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, México. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ciencias, UAEMéx, México.
- Luna-Vega, I. (2018). Aplicaciones de la biogeografía histórica a la distribución de las plantas mexicanas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79: 217- 241.
- Manzanilla-Quñones, U., Aguirre-Calderón, O. A., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., & Yerena-Yamallel, J. I. (2019). Distribución actual y futura del bosque subalpino de *Pinus hartwegii* Lindl en el Eje Neovolcánico Transversal. *Madera y Bosques*, 25(2): e2511804.
- Mayer, H. & 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.
- Mendoza-Quijano, F., Vázquez Díaz, J. & Quintero Díaz, G.E. (2007). *Phrynosoma orbiculare*. The IUCN Red List of Threatened Species 2007: e.T64079A12734405.

- Monroy-Vilchis, O. & Velázquez, A. (2002). Distribución regional y abundancia del lince (*Lynx rufus escuinape*) y el coyote (*Canis latrans cagottis*) por medio de estaciones olfativas: un enfoque espacial. *CIENCIA ergo sum* 9 (3): 293-300.
- Monroy-Vilchis, O., Luna-Gil, A. A., Endara-Agramont, A. R., Zarco-González, M. M. & González-Desales, G. (2020). Nevado de Toluca: habitat for *Romerolagus diazi*?. *Animal biodiversity and conservation*, 43(1): 115- 121.
- Montes-Carreto, L. M., Guerrero, J. A., & Ortega, J. (2020). Effects of Habitat Fragmentation on the Genetic Variability of the Volcano Rabbit (*Romerolagus diazi*). En: Ortega J., Maldonado J. (eds) Conservation Genetics in Mammals. Springer, Cham.
- Morrison, M. L., Marcot, B. G. & Mannan, R. W. (eds). (2006). Wildlife–Habitat Relationships: Concepts and Applications. Island Press, Washington, DC, USA.
- Neyra, J. J. (2012). Altas montañas mexiquenses. Historia natural, turismo y conservación. México: FOEM.
- Osuna, F., González, D., de los Monteros, E. & Guerrero, J. (2020). Phylogeography of the volcano rabbit (*Romerolagus diazi*): the evolutionary history of a mountain specialist molded by the climatic-volcanism interaction in the central mexican highlands. *Journal of Mammalian Evolution*.
- Osuna, F., Guevara, R., Martínez-Meyer, E., Alcalá, R. & Espinosa de los Monteros, A. (2021). Factors affecting presence and relative abundance of the Endangered volcano rabbit *Romerolagus diazi*, a habitat specialist. *Oryx*, 1-10.
- Paulo, C. A., Nuno, F. y Klaus, H. (2008). Lagomorph biology, evolution, ecology, and conservation. Springer Berlin Heidelberg, New York.
- R Core Team. (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.

- Rangel, C. H. (2008). El efecto del fuego en la persistencia de las poblaciones del zacatuche (*Romerolagus diazi*), en México: un enfoque multiescalar. Tesis de Maestría. UNAM, México.
- Rizo, A., J. Guerrero, M. Mihart & 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.
- Rumiz, D. I. (2010). Roles ecológicos de los mamíferos medianos y grandes. En: Wallace, R. B., et al. (eds). *Distribución, ecología y conservación de los mamíferos medianos y grandes de Bolivia*. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: Centro de Ecología Difusión.
- Rzedowski, J. (1978). Vegetación de México. Ed. Limusa: México.
- Rzedowski, J. (2006). 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Sánchez-González, A., López-Mata, L. & Vibrans, H. (2006). Composición y patrones de distribución geográfica de la flora del bosque de oyamel del cerro Tláloc, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 79, 67-78.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (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.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2018). Programa de Acción para la Conservación de la Especie Zacatuche (*Romerolagus diazi*), SEMARNAT/CONANP, México.
- SIEA-UAEM (eds.) (2012). Monte Tláloc II: La casa del Dios del agua. México.

- Suárez, M., & Téllez, O. (2014). Red de áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad del eje volcánico transmexicano analizando su riqueza florística y variabilidad climática. *Polibotánica*, (38): 67-93.
- Ter Braak, C. J. F. (2002). CANOCO. Version 4.5. Plant Research International, Wageningen University and Research Centre, Wageningen, The Netherlands.
- Trigo, B. N., H. A. Chimal, G. W. Heil, R. Bobbink & 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.
- Uriostegui-Velarde, J. M., González-Romero, A., Pineda, E., Reyna-Hurtado, R., Rizo-Aguilar, A. & Guerrero, J. A. (2018). Configuration of the volcano rabbit (*Romerolagus diazi*) landscape in the Ajusco-Chichinautzin Mountain Range. *Journal of Mammalogy*, 99 (1): 263–272.
- Vargas, B. C, R. V. Contreras, H. D. Flores & A. M. Díaz. (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. & G.W. Heil. (1996). Habitat suitability study for the conservation of the volcano rabbit (*Romerolagus diazi*). *Journal of Applied Ecology*, 33: 543–554.
- Velázquez, A. & Guerrero, J. A. (2019). *Romerolagus diazi*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T19742A45180356.
- Velázquez, A. (1994). Distribution and population size of *Romerolagus diazi* on El Pelado Volcano, México. *Journal of Mammalogy*, 75: 743–749.

- Velázquez, A. (1996). 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: FCE-UNAM
- Velázquez, A. (2012). El contexto geográfico de los lagomorfos de México. *Asociación Mexicana de Mastozoología*, 3: 223-238.
- Velázquez, A. y Cleef, A. (1993). The plant communities of the volcanoes “Tláloc” and “Pelado”, México.
- Velázquez, A., F. Romero & 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: FCE-UNAM.
- Velázquez, A., F. Romero & 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: FCE-UNAM.
- Velázquez, A., Larrazábal, A. & Romero, F. J. (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: 59-62.
- Velázquez, A., Romero, F. J., Rangel-Cordero, H. & Heil, G. W. (2001). Effects of landscape changes on mammalian assemblages at Iztá-Popo Volcanoes, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 10: 1059–1075.
- Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Gómez-Guerrero, A., Cerano-Paredes, J., Aguirre-González N. & Franco-Ramos, O. (2016). Potencial dendrocronológico de *Juniperus monticola* martínez en el monte Tláloc, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 39 (2): 175-185.

ANEXOS



Anexo 1. Distribución potencial y actual del zacatuche, su presencia ha sido confirmada únicamente en las sierras Chichinautzin-Ajusco y Sierra Nevada (Volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl; SEMARNAT 2018).



Anexo 2. Evidencia de rastros (excretas e individuos) del conejo zacatuche en monte Tlalóc.



Anexo 3. Plántula de *P. hartwegii* como alimento del conejo zacatuche.

