



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

Efecto de borde sobre el tamaño poblacional del  
conejo castellano (*Sylvilagus floridanus*) en la Reserva  
del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México, México

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

SOFIA ABISAG MONTES RODRÍGUEZ



DIRECTOR DE TESIS:  
DR. ZENON CANO SANTANA Ciudad  
Universitaria, Ciudad de México, 2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## Hoja de datos del jurado

1. Datos del alumno  
Montes  
Rodríguez  
Sofía Abisag  
55 35 11 46 62  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
105001878
2. Datos del Tutor  
Dr.  
Zenón  
Cano  
Santana
3. Datos del sinodal 1  
Dr.  
Fernando Alfredo  
Cervantes  
Reza
4. Datos del sinodal 2  
Dra.  
Livia Socorro  
León  
Paniagua
5. Datos del sinodal 3  
Dra.  
Silke  
Cram  
Heydrich
6. Datos del sinodal 4  
Biol.  
Guillermo  
Gil  
Alarcón
7. Datos del trabajo escrito  
Efecto de borde sobre el tamaño poblacional del conejo castellano (*Sylvilagus floridanus*) en la Reserva del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México, México.  
49 p  
2022

*Para mi Ita, quien siempre creyó en mí.*

*Ita no pudimos compartir este momento,  
pero sus enseñanzas quedarán eternamente.*

*Tiempo al tiempo.*

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Zenón Cano con especial agradecimiento, porque sin él esto no habría sido posible. Más que un tutor, es un gran amigo y por siempre le estaré agradecida por compartir su infinito conocimiento, por su confianza, por motivarme a seguir, por escuchar, por las numerosas oportunidades que me brindó y por supuesto, por ser una persona tan valiosa. En verdad muchas gracias.

A mis sinodales por enriquecerme profesionalmente con sus observaciones y recomendaciones hacia este trabajo.

A mis queridos amigos, Armi y Lore, mis cómplices al rescate y hermanitos por decisión, quienes a pesar de las adversidades siempre están para apoyarme y extenderme una mano para ser mejor cada día.

A mis amigos Memo, Nancy, Pablo, Raúl y en su momento Mariana, quienes sin saberlo me han hecho una mejor persona y cada vez aprendo cosas increíbles de cada uno. Gracias por escucharme y darme ánimos para seguir superándome.

A toda mi familia, por compartir sus momentos y su sabiduría.

Para siempre a mi mamá, quien siempre me apoya a pesar de todo, a quien admiro y de quien aprendí y sigo aprendiendo a ser mejor en todos los aspectos. A mi papá por su ejemplo, también en la perseverancia, generosidad y motivación en la biología. He aprendido mucho de ambos y los admito infinitamente.

A mi hermano Josué, que, aunque esta feíto, siempre me ha apoyado y me inspira a superarme cada vez más. Has tenido dificultades, pero eres muy inteligente y siempre sales triunfador, cosa que admiro mucho.

Y por supuesto, a mi chavito Mario, mi compañero de vida que ilumina el camino y aleja la niebla, eres mi inspiración y mi razón. Me has ayudado a salir adelante y a ser participe de un panorama que jamás había imaginado. Cada día le agradezco al universo por encontrarnos y darnos la oportunidad para crecer juntos. También a la familia Sámano, quienes me adoptaron como parte de su familia y me han inspirado muchísimo a ser mejor.

A mis compañeros animales no humanos, que, aunque no lo leerán, me gustaría que quede plasmado lo mucho que disfruto su compañía y que siempre han sido un gran sostén emocional, mi motor para seguir y brillar en esta oportunidad de vida.

También quiero agradecer a todos aquellos que de alguna u otra forma ofrecieron algo de lo que pude aprender y me permitieron modelar mi corazón biólogo, lo que me permitió escribir este trabajo y desempeñarme en la carrera.

Y finalmente, gracias a ti que estas por leer este trabajo, espero que te sea de gran utilidad.

# CONTENIDO

Págs.

## RESUMEN

I. Introducción.....	1
1.1. Borde y efecto de borde.....	1
1.2. El efecto de borde en mamíferos pequeños y medianos .....	3
1.3. Lagomorfos y su respuesta al disturbio .....	4
1.4. La Reserva del Pedregal de San Ángel, un relicto diverso .....	6
1.5. El efecto de borde en la Reserva del Pedregal de San Ángel .....	7
1.6. El conejo castellano como objeto de estudio .....	9
1.7. Justificación del estudio .....	14
II. Objetivos e hipótesis .....	16
III. Métodos.....	17
3.1. Muestreo .....	17
3.2. Análisis de los datos .....	20
IV. Resultados .....	22

4.1. Efecto de la distancia al borde .....	22
4.2. Efecto de la rugosidad del terreno .....	23
4.3. Efecto de la distancia al borde sobre los residuales de la regresión rugosidad-densidad de pastillas .....	24
V. Discusión .....	27
5.1. Efecto de borde .....	27
5.2. Efecto de la rugosidad sobre la densidad del conejo castellano.....	31
5.3. El caso de la Zona Núcleo Oriente .....	33
VI. Conclusiones .....	36
VII. Literatura citada .....	37
Apéndice I .....	48
Apéndice II .....	49
Apéndice III .....	50

## RESUMEN

El efecto de borde es el conjunto de alteraciones ocurridas a los márgenes de los hábitats que determina cambios a diferentes escalas en los sistemas biológicos que allí concurren. Su estudio es importante para comprender la influencia de los ambientes colindantes sobre los organismos de un hábitat. Este trabajo busca conocer el efecto de borde sobre el tamaño poblacional del conejo castellano (*Sylvilagus floridanus*), estimado a partir de la densidad de sus heces y la distancia al borde, así como la posible relación con el nivel de rugosidad del terreno. Para ello, se realizó un muestreo sistemático de 21 transectos, cada uno de 51 m de longitud perpendiculares a la línea de borde de las tres zonas núcleo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, CDMX. Se cuantificó la distancia que existe desde el borde hacia el interior de la reserva, la rugosidad del terreno y la densidad de las pastillas fecales en 34 cuadros (de 2.25 m<sup>2</sup>) contiguos sobre la línea de cada transecto. Los resultados exhiben que existe un efecto de borde para *S. floridanus* y que la topografía juega un papel importante en su distribución, pues se encuentra en menor densidad conforme la distancia al borde es más corta y en los sitios topográficamente más rugosos. Esto sugiere que la presencia de los conejos es afectada por el nivel de disturbio que experimentan los bordes: cambios en la estructura de vegetación, contaminación lumínica y sonora, tránsito vehicular y peatonal y, acumulación de desechos, así como el nivel de rugosidad del terreno. No se incluyeron los resultados de la Zona Núcleo Oriente debido a que no se registró actividad de los conejos sobre los bordes y, comparando con información previa, se sugiere que la población de conejos ha disminuido considerablemente en esta zona.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Borde y efecto de borde

Todos los componentes bióticos y abióticos de un ecosistema están interrelacionados de manera inseparable e interaccionan unos con otros, de manera que existe un flujo de energía y movimientos de materiales entre los componentes; asimismo, cada ecosistema es un sistema con entradas y salidas, y límites naturales o arbitrarios (Odum y Barrett, 2005). El cambio y la destrucción de los ecosistemas naturales inducen una transformación de las condiciones ambientales que también afectan a los organismos adaptados a ellas, de modo que el ambiente y la abundancia de los organismos pueden modificarse a lo largo de un gradiente, o bien, ocurrir en puntos de cambio abruptos (Odum y Barrett, 2005). Esto provoca discontinuidades espaciales en los rasgos de un hábitat y genera la existencia de límites y bordes (Lidicker, 1999). Un límite es una especie de filtro que regula el intercambio de materia y energía entre hábitats (Wiens *et al.*, 1985; Wiens, 1995; Marin *et al.*, 2001), mientras que un borde es el resultado de la interacción entre dos ecosistemas adyacentes (Murcia, 1995).

Un borde puede incrementar o disminuir su extensión, por lo que se puede medir la permeabilidad de los bordes y modular el efecto de la fragmentación sobre las especies a través de caracterización de dichos bordes (Stamps *et al.*, 1987; López-Barrera, 2004). De acuerdo con lo anterior, se permite considerar dos tipos de bordes: borde abrupto (López-Barrera, 2004) o efecto de matriz (Lidicker, 2000), donde hay un cambio abrupto entre los hábitats y se crea una barrera para

los organismos especializados, y un borde suave (López-Barrera, 2004) o efecto ecotono (Lidicker, 2000), en el cual hay una transición gradual, por lo que su permeabilidad es mayor y, a veces, incluso, puede fungir como un hábitat diferente (Stamps *et al.*, 1987; López-Barrera, 2004).

La anchura de un borde puede medirse a través de una medida del rendimiento de un organismo a lo ancho del mismo; pues cuanto mayor es el contraste entre hábitats contiguos menor es el flujo de organismos y, debido a que varios factores bióticos y abióticos penetran a diferentes distancias a través de un borde, cambian los resultados dependiendo el organismo focal (Laurance *et al.*, 1997).

El término “efecto de borde” explica cualquier cambio en la distribución de una variable dada que ocurre en la transición entre hábitats (Lidicker, 1999); su intensidad puede ser modelada través de la distancia, ya que define la magnitud de la penetración de los cambios dentro de un hábitat (Murcia, 1995).

Si la exposición del ecosistema natural a un borde modifica sus características más allá de su intervalo natural, entonces esa porción de ecosistema está bajo la influencia de los efectos de borde y será distinta, en varios niveles, al resto del ecosistema, debido a nuevas variables bióticas, abióticas o ambas; y este efecto puede incidir a diferentes niveles de los sistemas biológicos y sobre los atributos del ambiente (Murcia, 1995).

Entre los efectos negativos del efecto de borde está la fragmentación de los hábitats con la consecuente disminución de los tamaños de población, alta

dificultad de movimiento de organismos entre fragmentos y un aumento de la probabilidad de que ocurran extinciones locales e invasión de especies exóticas (Lidicker, 1999). Se han hecho estudios de riqueza, composición y abundancia de especies para definir algunos de los efectos de borde en la fauna, y algunos muestran que la presencia del borde también afecta los patrones de comportamiento o movimiento de los individuos (Rodríguez *et al.*, 2001; Anderson y Boutin, 2002; López-Barrera, 2004).

## **1.2. El efecto de borde en mamíferos pequeños y medianos**

Todos los organismos pueden sufrir la influencia de un borde en diversas maneras y dependiendo de cómo cada especie percibe y responde a las características ambientales de una zona de borde, los efectos pueden funcionar como barreras, áreas de conexión entre comunidades o no tener ningún efecto (Ruán-Tejeda, 2006).

En algunos mamíferos la percepción de un borde puede llegar a variar entre los integrantes de una misma especie, dependiendo de su sexo o su edad (Lidicker y Peterson, 1999). Además, dada su abundancia y altos requerimientos de alimento, algunos mamíferos pequeños y medianos suelen ser grandes depredadores de frutos, semillas, plántulas, hongos o insectos, lo que denota la gran importancia de la calidad del ambiente (Aranda, 2000; Ruán-Tejeda, 2006).

En el caso de algunos mamíferos medianos, como los conejos, se han reportado distintos tipos de respuesta que dependen mayormente de la tasa de depredación, competencia y disponibilidad de recursos presentada a los bordes de un hábitat (Pierce *et al.*, 2010). Por ejemplo, existe una investigación de Pierce *et al.* (2010) sobre la fragmentación en comunidades de arbusto artemisa (*Artemisia* spp.), que arrojó un estudio sobre las comunidades de su consumidor especialista el conejo pigmeo *Brachylagus idahoensis* (Lagomorpha: Leporidae). A través del monitoreo de madrigueras al interior y a los bordes del hábitat, así como la colecta de heces fecales de otros organismos sobre el borde, se encontró que existía un efecto de borde sobre el conejo pigmeo, esto debido a que las madrigueras del interior fueron las únicas activas, además de que las heces colectadas correspondían a grandes mamíferos depredadores y a otro conejo del género *Sylvilagus*, el cual desplazo al conejo pigmeo por competencia directa.

### **1.3. Lagomorfos y su respuesta al disturbio**

Los lagomorfos son un orden de mamíferos placentarios, que alberga tres familias conformadas por las pikas (Ochotonidae), las liebres y los conejos (Leporidae), y Prolagidae que actualmente está extinta. Estos organismos proveen de numerosos servicios en el ecosistema, en donde incluso a algunos se les considera especies clave en el lugar que habitan, y a otros como ingenieros del ecosistema (Smith, 1990).

La selección de hábitat en los lagomorfos está prácticamente restringida a las características de la vegetación, tanto en áreas continuas como en fragmentadas y, en estas últimas, puede variar la respuesta según el grado de fragmentación; sin embargo, la principal tendencia está relacionada con el rol de las variables del hábitat y la forma en que varían de acuerdo con el tipo de borde entre fragmentos (Vigós *et al.*, 2003).

Se ha reportado que existe una coincidencia entre la disminución en el tamaño poblacional de lepóridos con la pérdida en la diversidad de la flora nativa y con el aumento en la homogeneización del hábitat, procesos que están muy relacionados con actividades antropogénicas, tales como la práctica excesiva de monocultivos, la transformación del hábitat nativo en asentamientos humanos y la explotación de los bosques (Reitz y Léonard, 1994; Forsy y Humphrey, 1999; Smith *et al.*, 2004). Sin embargo, se ha visto que estos efectos se logran mitigar debido a la flexibilidad con la que pueden responder muchos lepóridos utilizando la vegetación disponible como alimento e incluso buscándola en áreas perturbadas (Reitz y Léonard, 1994; Kunst *et al.*, 2001). No obstante, si la heterogeneidad del hábitat es pobre y la estructura vegetal limitada, se comprometen la calidad de los recursos, la disponibilidad estacional de alimento y refugio, y la heterogeneidad ambiental, por lo que los lepóridos restringen su distribución en esas zonas (Smith *et al.*, 2004).

#### 1.4. La Reserva del Pedregal de San Ángel, un relicto diverso

La Reserva del Pedregal de San Ángel (REPSA) (19° 18' 21"- 19° 20' 11" N, 99° 10' 15"- 99° 12' 4" O; 2,270 - 2,349 metros s.n.m.) localizada dentro de los terrenos de Ciudad Universitaria en la Ciudad de México (REPSA, 2022), tiene un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 17.3°C y una precipitación anual de 833mm (SMN, 2014), que se distribuye de manera irregular, registrándose una temporada de secas que abarca de noviembre a mayo, y una de lluvias de junio a octubre (REPSA, 2022).

La reserva cuenta con un sustrato típicamente basáltico, producto de la erupción del volcán Xitle ocurrida hacia el año  $280 \pm 35$  de nuestra era (Siebe, 2009). Debido al enfriamiento del producto magmático, se formó una superficie heterogénea dando lugar a una gran cantidad de macro y microambientes diferenciables por sus condiciones de luz, temperatura y humedad (Álvarez *et al.*, 1982), y hay un suelo somero rico en materia orgánica. Estas condiciones impiden el desarrollo de individuos leñosos conspicuos, que son muy escasos, pero permite el establecimiento de una alta diversidad de flora muy rica y variada (Rzedowski, 1954). Las asociaciones vegetales son clasificadas como matorral xerófilo, con dominancia de arbustos de la especie *Pittocaulon praecox* y hierbas, y algunos árboles exóticos como *Eucalyptus* spp. y *Schinus molle*, comúnmente conocidos como eucalipto y pirul (De la Fuente, 2005; Hortelano-Moncada *et al.*, 2009).

La REPSA alberga alrededor de 1,849 especies de distintos grupos de seres vivos, de las cuales 317 son exóticas (REPSA, 2022). Dentro el componente mastofaunístico, la reserva cuenta con 30 especies de mamíferos nativos reportados para el país (REPSA, 2022).

Debido al creciente desarrollo urbano en los alrededores de la reserva, las poblaciones de mamíferos medianos se han reducido drásticamente, siendo la causa principal la acelerada transformación del hábitat natural, la urbanización y la contaminación; esta última puede interferir en los hábitos de los animales al cambiar las características de los recursos del ecosistema útiles para los animales (Castellanos-Morales *et al.*, 2009), así como fomentar la propagación de animales exóticos y ferales, principalmente los perros y gatos que afectan en gran medida las poblaciones nativas porque generan un cambio en la conducta de ésta, la desplazan, marginan y reducen (Hortelano-Moncada, 2009); además, le transmiten enfermedades diezmando sus poblaciones (Suzán y Ceballos, 2005) y, también actúan como depredadores (Ramos-Rendón, 2010).

### **1.5. Efecto de borde en la Reserva del Pedregal de San Ángel**

La REPSA es un área protegida desde 1983, que se extiende en 237 hectáreas dentro de Ciudad Universitaria, campus principal de la Universidad Nacional Autónoma de México, que conforma uno de los últimos relictos del ecosistema natural del Pedregal de San Ángel (Zambrano *et al.*, 2016).

El ecosistema del Pedregal de San Ángel está profundamente afectado por la fragmentación del ecosistema, pues desde mediados del siglo XX muchos de los poblados empezaron a invadir los terrenos del Pedregal de San Ángel y adicionalmente, surgieron nuevos asentamientos humanos y nuevas cimentaciones urbanas, incluyendo Ciudad Universitaria (Rzedowski, 1954). Con la fragmentación del hábitat original del Pedregal de San Ángel, las fracciones de terreno protegidas de lo que hoy conforman la REPSA están expuestas a múltiples disturbios que pueden afectar la biota, sobre todo en sus bordes, como por ejemplo el tránsito de vehículos y la actividad de personas, por contaminación auditiva y luminosa, así como por el depósito de residuos sólidos urbanos (Lot *et al.*, 2012; Zambrano *et al.*, 2016).

Actualmente se sabe que existe efecto de borde para el ratón piñonero *Peromyscus gratus* (Rodentia: Cricetidae), pues se registró una mayor preferencia del ratón hacia el interior de la reserva; dicha preferencia que se atribuye a la mayor disponibilidad de alimento y de refugios para la especie (Montesinos-Laffont, 2013). Por otro lado, en los bordes de esta reserva se presenta menor riqueza vegetal y mayor dominancia en cobertura de plantas exóticas debido principalmente a los disturbios derivados de actividades humanas, cambio en las condiciones ambientales y en la disponibilidad de recursos, así como también a la mayor competitividad frente a las especies nativas de plantas (Noguez-Ledesma, 2020).

## 1.6. El conejo castellano como objeto de estudio

Del orden Lagomorpha, *Sylvilagus floridanus* J. A. Allen (Lagomorpha: Leporidae), también conocido como conejo castellano, es la especie que presenta la distribución geográfica más amplia del género en América, desde el sureste de Canadá hasta el noroeste de Venezuela (Diersing, 1978; Chapman *et al.*, 1980; Hall, 1981). Se distribuye en varios hábitats, como en valles, planicies, montañas con bosques de coníferas y encinos, bosques tropicales, pastizales y matorrales xerófilos (Chapman y Ceballos, 1990; Nelson, 1904, 1909). En México se encuentra en casi todo el país, a excepción de la Península de Baja California (Farías-González, 2011; Escobedo-Cabrera, 2011).

En la Ciudad de México, se ha reportado la presencia del conejo castellano en la Reserva del Pedregal de San Ángel (Zambrano *et al.*, 2016), lugar que es el punto focal del presente estudio.

Parte de la biología del lagomorfo se describe como un animal de 427 mm de largo y peso de 1.2 kg; un pelaje de color marrón a grisáceo y blanco (Chapman *et al.*, 1980). Las características de la excreta corresponden a formas semiesféricas irregulares de materia vegetal compactada y triturada, de un centímetro de diámetro como máximo y de color pardo (Aranda, 2000; Fig. 1.1). En este estudio se utilizará el término “pastillas fecales”<sup>1</sup> para referirse a dicha excreta.

---

<sup>1</sup> Pastilla fecal: en este trabajo se utilizará este término que describe la forma de las heces de ciertos mamíferos que defecan en unidades discretas, las cuales, en la literatura inglesa son denominadas como “faecal pellets” (Chapman y Flux, 1990). En español no se utiliza este concepto, pero en este trabajo se acepta su utilidad para conceptualizar la forma de las heces de los conejos y no confundir con la forma de las heces de otros animales. De acuerdo con la RAE (Real Academia Española), el término “pastilla” se define como: porción de pasta consistente, de forma, tamaño y usos variables, de uno u otro tamaño y forma.



Figura 1.1. Fotografía de la excreta del conejo castellano (pastillas fecales), con fecha de febrero del 2018, en la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. Foto: Sofia Montes.

En la REPSA la densidad poblacional del conejo sucede de manera cíclica y se tiene registrado un incremento en la población en los meses de octubre a diciembre, lo que sugiere que ocurre un periodo reproductivo en julio y agosto, siendo éste un periodo relacionado a mayor abundancia de recursos en esta localidad que coincide con la época de lluvias; mientras que durante la época seca ocurre una disminución de la población, que también coincide con una escasa disponibilidad de recursos (Glebskiy *et al.*, 2020).

Su alimentación varía dependiendo de la época y disponibilidad de recursos (Chapman *et al.*, 1980), aunque Ceballos y Galindo (1984) reportan un carácter herbívoro generalista que incluye plántulas, pastos, forbias, legumbres, frutos y granos. En la REPSA se ha reportado que podría ser un importante dispersor y

depredador de semillas de diversas plantas, pues se han encontrado un total de 17 plantas a través del análisis de heces fecales, entre ellas el helecho *Asplenium praemorsum* Sw., un musgo no identificado y varias especies de pastos (Glebskiy, 2019). Sin embargo, es posible que las plantas predilectas para su alimentación sean el maguey Shishi (*Manfreda scabra*), el pasto rosado (*Rhynchelytrum repens*) y el zacate (*Muhlenbergia robusta*) (Glebskiy, 2019).

El conejo castellano es uno de los mamíferos más representativos de la REPSA. Este conejo puede consumir el 5.4 % de la productividad primaria neta aérea (PPNA) de la REPSA y hasta el 18% en sitios de alta abundancia y, deposita  $125.7 \pm 20.9$  kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de heces fecales, que colaboran con el transporte de nutrientes de las plantas al suelo (Glebskiy, 2016). Por otra parte, se ha estimado también que en sitios de alta abundancia hay un depósito de heces de 529 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Dorantes, 2017). Dado lo anterior, *S. floridanus* es considerado como el principal consumidor primario, superando incluso el consumo del 1.2 % del chapulin *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera: Pyrgomorphidae), el insecto herbívoro más importante de la REPSA (Cano-Santana, 1994a).



Figura 1.2. Fotografía del conejo castellano, con fecha del 11 de septiembre de 2019, en la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. Foto: macortes, tomada de NaturaLista ([www.naturalista.mx/observations/32554536](http://www.naturalista.mx/observations/32554536)).

La densidad poblacional de los conejos se ha visto modificada en los últimos años. En 2013, G. Gil (com. pers.) observó un aumento importante en la población. Para el 2014, la densidad de conejos en la REPSA fue de 8.8 ind/ha pero bajó a 2.36 ind/ha entre los años 2014 y 2017 aumentando a 4.1 ind/ha en 2018 (Glebskiy *et al.*, 2018b). Esta dinámica puede ser el resultado de fluctuaciones cíclicas en la dinámica de la población y la reducción de recursos necesarios para la reproducción, tal como se ha observado en otras especies de lagomorfos (Glebskiy *et al.*, 2020). Los valores reportados para la densidad normal de esta especie rondan alrededor de 8 ind/ha (Bittner y Chapman, 1979).

En la literatura, se reporta que la distribución de *S. floridanus* suele ser en campos cubiertos por hierbas y arbustos, o en zonas cercanas a algún tipo de refugio (Chapman *et al.*, 1980); además, se sabe que la especie se adapta muy bien a los hábitats perturbados por el hombre, extendiéndose en un paisaje dominado por la agricultura en el que pequeños parches de vegetación natural aún están presentes, lo que sugeriría que su distribución se debe al tipo de vegetación y altitud principalmente (Bertolino, 2011).



Figura 1.3. Fotografía de la rugosidad presente en la REPSA. Se observa un tipo de grieta muy común de encontrar en este ambiente. Foto: Sofia Montes.

En el caso de los conejos de la REPSA, se ha observado que su distribución es agregada (Dorantes, 2017) y la topografía puede ser uno de los factores más importantes para la distribución, pues a través de varios estudios, se midió el grado de rugosidad de terreno de forma cualitativa y se observó que los conejos prefieren áreas planas, pues en las zonas con un suelo más rugoso es menos común encontrar pastillas fecales del conejo (Dorantes, 2017; Glebskiy, 2016), incluso, se considera que la rugosidad de terreno es el segundo factor más importante que determina la distribución del conejo castellano en la REPSA, después de la depredación (Glebskiy *et al.*, 2018a).

La presencia de depredadores afecta la abundancia de los conejos (Glebskiy *et al.*, 2018a), pues este mamífero compone uno de los alimentos principales para diferentes animales de la REPSA (Granados, 2008). Se cree que actualmente pueden ser presa importante de perros y gatos ferales, causales de la reciente disminución de la población de conejos, y posiblemente de *Urocyon cinereoargentu* (Carnivora: Canidae) o zorra gris (Glebskiy *et al.*, 2018a), la cual se creía extinta en la REPSA (Hortelano-Moncada *et al.*, 2009; Zambrano *et al.*, 2016), hasta un avistamiento obtenido en 2017, aunque su población posiblemente sea muy baja (López, 2017).

Es posible que las poblaciones del conejo castellano de cada zona núcleo sean independientes, ya que cada una de estas zonas se encuentra separada perimetralmente con mallas y muros, lo que imposibilita la conectividad entre zonas y el paso de los animales. Se ha encontrado que sólo se encuentran conejos en las áreas aledañas a la reserva que mantienen conectividad, lo que sugiere que los parches pequeños y aislados pueden tener un efecto desfavorable para los conejos (Dorantes, 2017).

### **1.7. Justificación del estudio**

La REPSA es una reserva natural de carácter urbano particular por su biodiversidad y geomorfología, de gran valor paisajístico (Lot y Camarena, 2009), por lo que el estudio de su relación con la ciudad es necesario y la información permitirá el mejoramiento de programas para la conservación.

El estudio del efecto de borde es importante para comprender la influencia de los ambientes urbanizados colindantes sobre la dinámica de un ecosistema y los organismos que allí concurren, y dada la importancia del conejo castellano para la reserva, su estudio como organismo focal podrá brindar más información sobre la influencia de la urbanización y el disturbio sobre el ecosistema, además de los factores que pueden influir en la distribución de este organismo. Este estudio puede ser de gran utilidad para investigaciones futuras a cerca de la conservación y manejo de las especies que habitan esta reserva.

## II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

El objetivo general de esta tesis es evaluar si existe un efecto de borde sobre la densidad poblacional del conejo castellano (*Sylvilagus floridanus*) en las zonas núcleo (Oriente, Poniente y Sur Oriente) de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, de la Ciudad Universitaria, UNAM, CDMX.

Los objetivos particulares son:

1. Evaluar si la distancia que existe del borde al interior de la REPSA tiene un efecto sobre la densidad de los conejos, a través del conteo de pastillas fecales encontradas a lo largo de transectos de 51 metros desde el borde al interior de la reserva.
2. Conocer los niveles de rugosidad del terreno de los bordes de la REPSA a través de la aplicación de un índice basado en un método de estimación de complejidad topográfica (Risk, 1972; Aronson y Swanson, 1997).
3. Analizar el efecto de la rugosidad del terreno sobre la densidad de pastillas fecales.

Se espera que, si los bordes afectan negativamente a las poblaciones de *S. floridanus*, entonces la densidad de pastillas fecales se verá reducida conforme se esté más cerca de éstos. Además, se espera que exista una preferencia por zonas que sean más planas debido a posibles dificultades motrices de los conejos en terrenos muy rugosos, tal como fue registrado por Glebskiy (2016) y Glebskiy *et al.* (2018a).

### III. MÉTODOS

#### 3.1. Muestreo

El muestreo se llevó a cabo durante la época seca, en los meses de febrero y marzo de 2018, en consideración de que la estacionalidad no es relevante para este estudio debido a que el efecto de borde es un fenómeno que ocurre indistintamente de la estación, además, el organismo focal está presente durante todo el año. Se seleccionaron 21 sitios asociados a bordes con edificaciones y avenidas, dentro de las tres zonas núcleo que componen la REPSA. Nueve se ubicaron en la Zona Núcleo Poniente, ocho en la Zona Núcleo Oriente y cuatro en la Zona Núcleo Sur Oriente (Fig. 3.1).



Figura 3.1. Mapa de los transectos en las zonas núcleo de la REPSA. Delimitadas con líneas rojas se muestran las tres zonas núcleo de estudio; con puntos amarillos se ilustran los sitios para los transectos muestreados del presente estudio. Foto modificada de Google Maps (2018).

Debido a que en la literatura distintos componentes bióticos responden al borde entre los 30 y 50 m hacia el interior del ecosistema conservado (Peña-Becerril *et al.*, 2005), en cada sitio se colocó un transecto perpendicularmente al borde de 51 m de largo  $\times$  1.5 m de ancho, a lo largo del cual se ubicaron 34 cuadros contiguos de 1.5 m de largo  $\times$  1.5 m de ancho y, dentro de cada uno de ellos y justo en el centro, un cuadro de 0.5 m de largo  $\times$  0.5 m de ancho (Fig. 3.2).

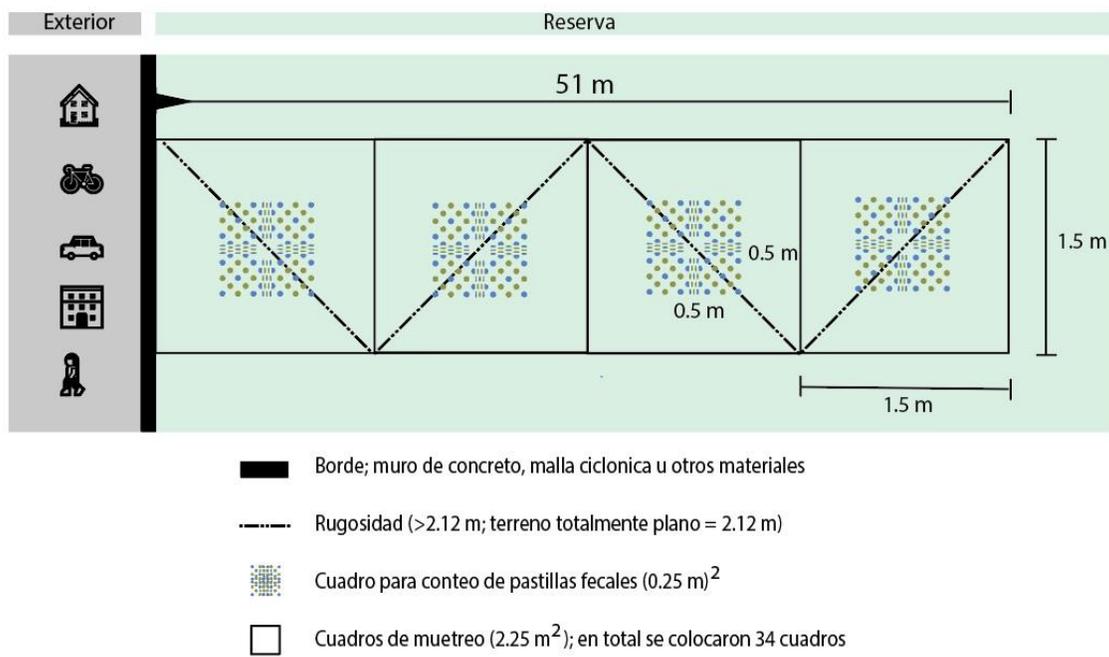


Figura 3.2. Muestreo por transecto de 51 m, perpendicular a la línea del borde y dirigido hacia el interior de la reserva. Se midió la longitud del perfil del sustrato en forma zigzagueada por las líneas diagonales que se ubican en cada cuadro de  $1.5 \times 1.5 \text{ m}$ , y se realizó el conteo de pastillas fecales que caían dentro de cada cuadro de  $0.5 \times 0.5 \text{ m}$ .

En los cuadros de  $2.25 \text{ m}^2$ , es decir, los de  $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$  por lado, se registró la longitud del perfil del sustrato para estimar la rugosidad, mientras que en los cuadros de  $0.25 \text{ m}^2$ , es decir, los de  $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$  se contó el número de pastillas fecales del conejo, las cuales debían tener al menos una integridad del 50%, ya que permite hacer una estimación confiable de densidades absolutas, bajo la

premisa de que los conejos dejan caer las pastillas a medida que se mueven (Krebs *et al.*, 1987).

Tomando como referencia el método de estimación de complejidad topográfica (Risk, 1972; Aronson y Swanson, 1997), se estimó la rugosidad del terreno al medir la longitud del perfil del sustrato con una cinta métrica de fibra de vidrio, de 1 cm de ancho, 20 m de largo y 1 mm de grosor, de la marca AKSI, la cual se dejó caer sobre las formas del sustrato en las diagonales de cada cuadro de  $1.5 \times 1.5$  m con una dirección alternada (Fig. 3.2). La escala de medición inicia a partir de 2.12 metros, esto debido a que para un cuadro de  $2.25 \text{ m}^2$  la diagonal es igual a 2.12 m, por lo que un sustrato totalmente plano mide lo que mide la diagonal (Fig. 3.3).

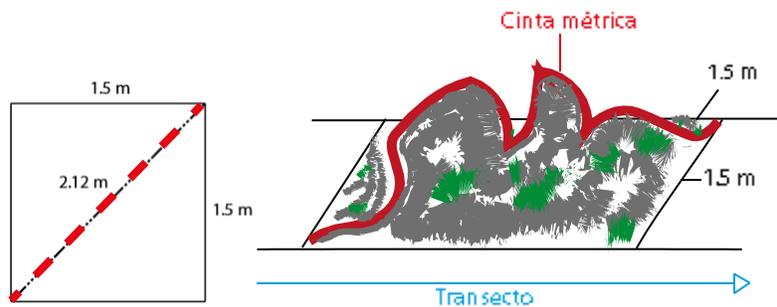


Figura 3.3. A la izquierda se presenta el esquema del cuadro para toma de la longitud del perfil del sustrato, la línea punteada roja ilustra la dirección donde se midió (sustrato plano es igual a 2.12 m). A la derecha se presenta un ejemplo de la toma de los datos que se realizó siguiendo la forma del sustrato, la línea roja representa una cinta métrica. La escala va de 2.12 m en adelante.

### 3.2. Análisis de los datos

Para poder calcular la rugosidad del terreno ( $R_g$ ) se usó la siguiente ecuación:

$$R_g = (x/L_c) - 1$$

donde:  $x$  es la longitud alcanzada por la cinta sobre el sustrato, y  $L_c$  es la longitud lineal de la diagonal (que en un cuadro de  $1.5 \times 1.5$  m, ésta mide ca. 2.12 m). Esta ecuación tiene una escala entre 0 e infinito, donde 0 indica que el terreno es plano y tiene valores altos de acuerdo con lo rugoso que esté el terreno (con crestas o hendiduras).

A continuación, se realizó un ajuste de las variables con el logaritmo decimal y se utilizó el método de regresión lineal y el análisis de los residuos con el programa STATISTICA versión 13.0 (Statsoft, 2015) y el programa EXCEL de Microsoft, así como también el índice de correlación de Pearson, con un valor de  $p < 0.05$  significativo para conocer la relación entre la densidad de pastillas fecales encontradas en el terreno con la distancia del borde hacia el interior de la reserva y con la rugosidad del terreno.

De esta manera, se realizó una regresión lineal para corroborar si existe una relación entre la distancia al borde y la densidad de pastillas fecales y, una regresión lineal para la rugosidad del terreno y la densidad de pastillas fecales. Posteriormente, para verificar el efecto de la distancia al borde sobre la densidad de heces reduciendo la varianza por efecto de la rugosidad, se realizó una

regresión lineal de la distancia al borde y los residuales de la regresión de rugosidad contra densidad de heces.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Efecto de la distancia al borde

En la Zona Núcleo Oriente (ver figura 3.2) no se encontraron pastillas fecales, por lo que las ocho parcelas que corresponden a esta zona fueron descartadas en el análisis de los datos. A partir de lo anterior, se obtuvieron en total 442 datos del número de pastillas fecales por cuadro y 442 datos de longitudes del sustrato (13 parcelas × 34 cuadros). Con los datos de las 13 parcelas restantes se encontró que la distancia al borde incide significativa y positivamente sobre la densidad de pastillas fecales de *S. floridanus*, de acuerdo con la ecuación:

$$\log_{10} [\text{Densidad de pastillas (no./m}^2\text{)} + 1] = [0.144 \pm (\text{e.e. } 0.05) + 0.006 \pm (\text{e.e. } 0.002)] \times [\text{Distancia al borde (m)}]$$

(Análisis de varianza de la regresión:  $F_{(1,440)} = 14.25$ ;  $r = 0.177$ ;  $p = 0.0002$ ;  $r^2 = 0.029$ ,  $n = 442$ ; Fig. 4.1), aún con la variación causada por la rugosidad del terreno.

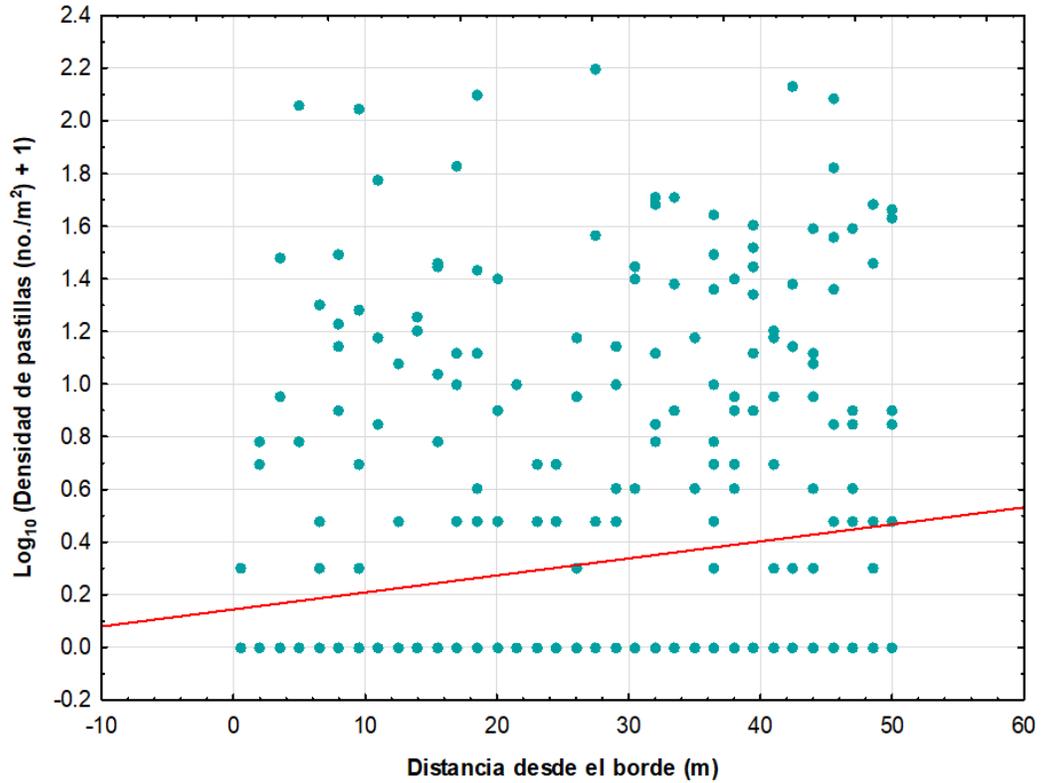


Figura 4.1. Regresión lineal entre la distancia al borde (m) y el logaritmo decimal de la densidad de pastillas fecales (no./m<sup>2</sup>). Datos de febrero a marzo, 2018.

#### 4.2. Efecto de la rugosidad del terreno

Se encontró que el nivel de rugosidad del terreno (Rg) incide significativa y negativamente a la densidad de pastillas fecales, de acuerdo con la ecuación:

$$\log_{10} [\text{Densidad de pastillas (no./m}^2) + 1] = [0.381 \pm (\text{e.e. } 0.03) - 0.152 \pm (\text{e.e. } 0.034)] \times [\text{Rugosidad}]$$

(Análisis de varianza de la regresión:  $F_{(1,440)} = 19.1$ ;  $r = 0.204$ ;  $P < 0.00002$ ;  $r^2 = 0.039$ ,  $n = 442$ ; Fig. 4.2).

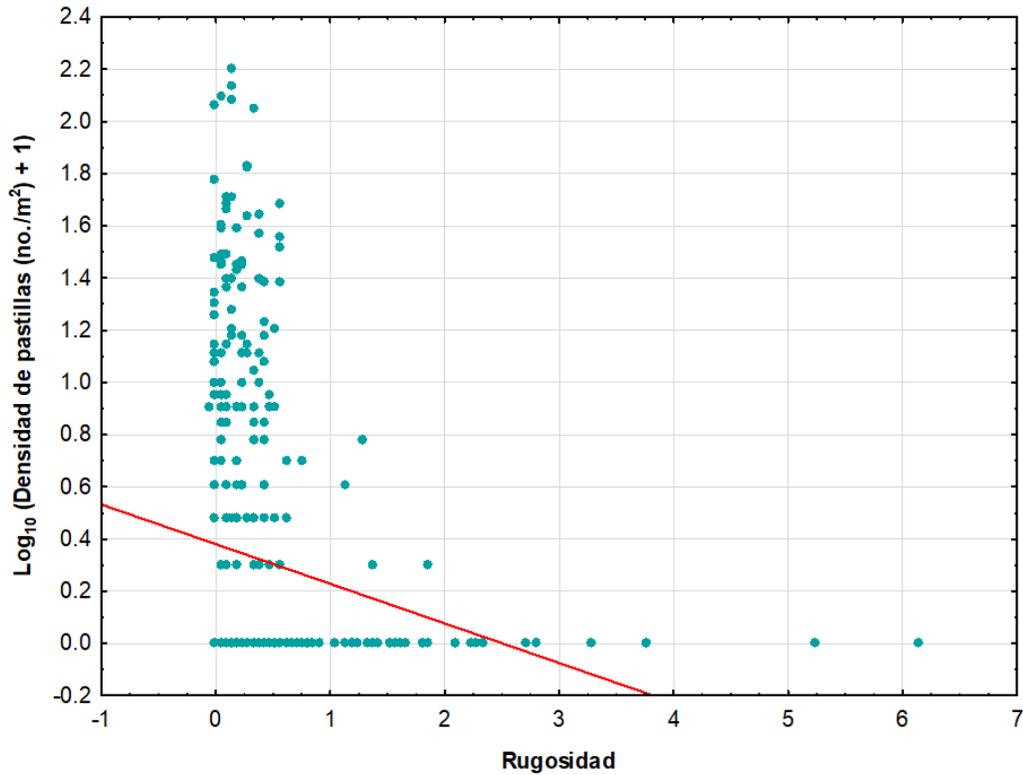


Figura 4.2. Regresión lineal para verificar el efecto de la rugosidad del terreno [escala: 0 (plano) a infinito (muy rugoso); ver Métodos] sobre el logaritmo decimal de la densidad de pastillas fecales (no./m<sup>2</sup>) del conejo castellano en la REPSA. Datos de febrero a marzo, 2018.

#### 4.3. Efecto de la distancia al borde sobre los residuales de la regresión rugosidad-densidad de pastillas

Finalmente, se realizó un análisis de residuales para eliminar la variación que impone la rugosidad sobre la densidad de heces (no./m<sup>2</sup>), el cual ofrece el siguiente modelo lineal:

$$\text{Residuales [Rugosidad vs log}_{10} (\text{Densidad de pastillas} + 1)] = [-0.201 \pm (\text{e.e. } 0.05) + 0.008 \pm (\text{e.e. } 0.002)] \times [\text{Distancia al borde (m)}]$$

(Análisis de varianza de la regresión:  $F_{(1,440)}= 23.03$ ;  $r= 0.223$ ;  $P < 0.0001$ ;  $r^2= 0.048$ ,  $n= 442$ ; Fig. 4.3).

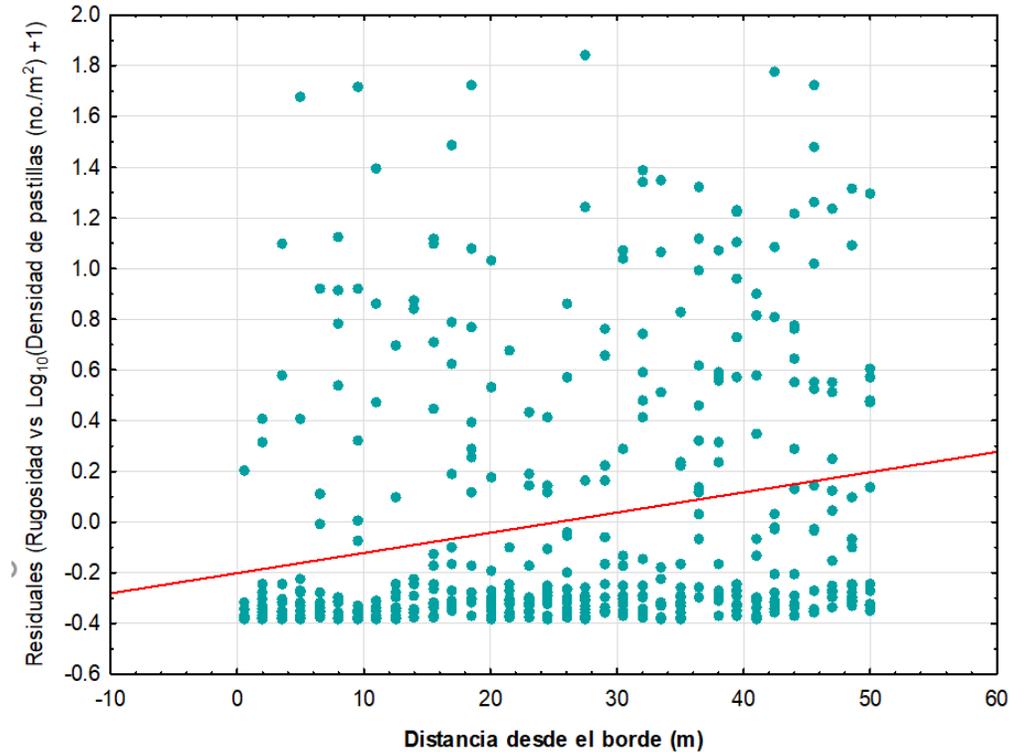


Figura 4.3. Regresión lineal de los residuales del logaritmo decimal de la densidad de pastillas fecales (no./m<sup>2</sup>) contra la distancia al borde (m). Datos de febrero a marzo, 2018.

El modelo de regresión es significativo, lo que indica que existe una relación positiva entre las variables estudiadas con muy baja probabilidad de que se deba al azar. El 5% de la variación de la densidad de pastillas (sin la varianza de la rugosidad) es debido a la variación de la distancia desde el borde, mientras que el porcentaje restante de se debe a la influencia otras variables distintas de la distancia, que actúan sobre la densidad. Dichas variables pueden estar ligadas al comportamiento los conejos (como cuanto alimento y qué consumieron, cuantas

veces transitaron por el mismo lugar, la edad de los individuos, etc.). El modelo permite responder a la pregunta principal de este trabajo.

## V. DISCUSIÓN

### 5.1. Efecto de borde

Los resultados ofrecen que, si bien el análisis de las variables pudo realizarse con un ajuste de modelos lineales generalizados (GLIM), el método lineal aplicado resultó con significancia y, en términos de practicidad, resulta válido y explica el modelo del estudio, aunque con bajo nivel de predicción.

El modelo indica que la distancia al borde afecta significativamente la densidad de pastillas fecales y que la rugosidad tiene un efecto negativo sobre la distribución del conejo. A mayor distancia (lejanía) del borde mayor es la densidad de pastillas y, a mayor grado de rugosidad menor número de pastillas fecales. Esto sugiere que existe un efecto de borde sobre la densidad de conejos castellanos, pues en general, los conejos evitan los bordes y prefieren el interior de la reserva, además que, la rugosidad del terreno juega un papel muy importante.

De acuerdo con la literatura, *S. floridanus* puede mantener actividad en áreas perturbadas e incluso llega a ajustarse bien a los disturbios provocados por actividades humanas (Mankin y Warner, 1999). Por una parte, esto concuerda con algunas observaciones de campo en donde en algunos bordes de la REPSA aledaños a institutos o bordes con bardas gruesas y altas, sí hubo actividad de este lagomorfo (Ver apéndice I); sin embargo, este comportamiento fue escaso y de manera general los resultados señalan que son conductas aisladas. Esto puede sugerir que en aquellos bordes en donde hay actividad de esta especie

posiblemente no presentan altos niveles de disturbio y, topográficamente el suelo es más plano que en otros bordes (Ver apéndice II).

El efecto de borde es un indicador del grado de disturbio al que está sometido el ecosistema que está cerca de un borde (Lidicker, 1999). En la REPSA existe disturbio en muchas de las áreas contiguas a los bordes de las zonas núcleo, pues están sometidas a diversas actividades que alteran el ecosistema, tales como el depósito de basura doméstica (en el caso de las áreas que mantienen colindancia con el límite urbano), depósito de basura por parte de los transeúntes de Ciudad Universitaria y, el depósito de materiales de construcción (como cascajo) y desechos de jardinería que cubren el sustrato basáltico y la vegetación original, ambos producto del mantenimiento para el equipamiento e infraestructura de la universidad (Zambrano *et al.*, 2016; obs. pers.; Fig. 5.1).

En ese sentido, en muchos de los bordes de la reserva existen barreras físicas como los rellenos de construcción y la basura, así como también un suelo compactado e invadido por especies vegetales exóticas (Antonio-Garcés *et al.*, 2009; Noguez-Ledesma, 2020). Además, algunas de estas áreas de borde están sometidas a constante contaminación auditiva y luminosa, que también puede contribuir con la alteración del comportamiento de las especies de animales (Zambrano *et al.*, 2016).

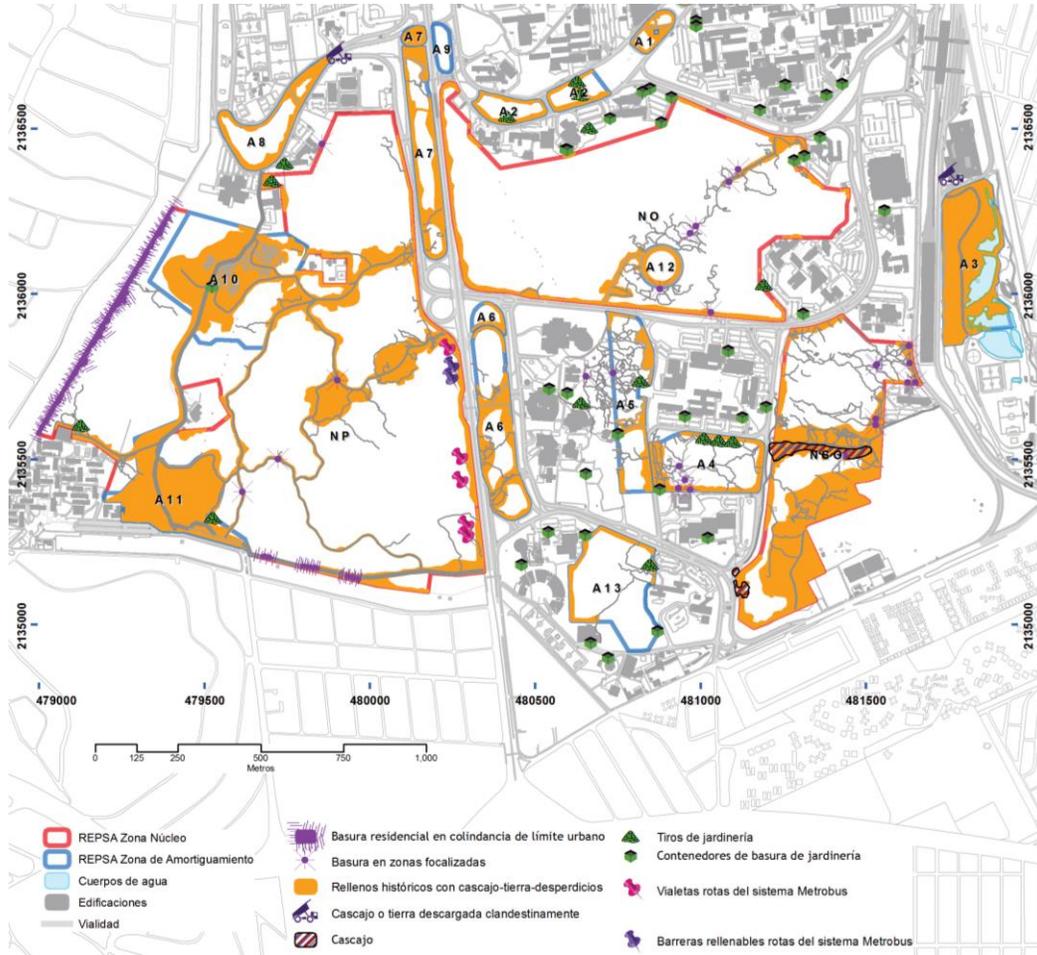


Figura 5.1. Mapa de los rellenos y residuos que se han depositado históricamente en la Reserva del Pedregal de San Ángel, muchos de los cuales confluyen en los bordes. Extraída y modificada de Lot *et al.* (2012).

Múltiples factores finalmente terminan por impactar el terreno natural propiciando la vulnerabilidad del ecosistema (Zambrano *et al.*, 2016), de manera que cambian las condiciones del hábitat.

La vegetación tiene importancia en la distribución del conejo castellano en la REPSA (Glebskiy, 2016; Glebskiy, 2019). Esta tiene una relación estrecha con la calidad de los recursos, como la disponibilidad de alimento y de refugio, por lo que

la alteración en su composición puede ser uno de los factores que está generando una respuesta distinta del conejo hacia el ambiente (Farías-González, 2011).

Los bordes de la REPSA presentan condiciones diferentes a las que se encuentran al interior de la reserva, tales como la incidencia de luz, radiación solar y el viento, factores como la temperatura y la humedad de los microambientes y, un suelo compactado y pobre en nutrientes ocasionado por la acumulación de cascajo y basura (Cano-Santana *et al.*, 2006; Noguez-Ledesma, 2020). Dichas condiciones alteran la dinámica del ecosistema y ocurre la competencia por los recursos, se favorece el establecimiento de especies exóticas y estas desplazan a las especies vegetales nativas (Noguez-Ledesma, 2020).

La composición vegetal impacta en las preferencias de organismos como el conejo castellano, que, aunque se alimenta de al menos 17 tipos de plantas, en mayor medida tiene preferencia por plantas que pertenecen al ecosistema nativo, como las especies *Manfreda scabra* y *Muhlenbergia robusta* (Glebskiy, 2019), esta última considerada como un referente del interior de la reserva que se localiza en sitios con baja perturbación (Noguez-Ledesma, 2020).

De acuerdo con lo anterior, es claro que el cambio en las condiciones ambientales altera el flujo de las interacciones entre los organismos nativos de la reserva. Estos cambios experimentados en los bordes del ecosistema nativo representan condiciones nuevas de alimento, cobertura y protección, y son características que pueden estar afectando negativamente al conejo, de manera similar a lo observado por Palomares *et al.* (1999), quienes encontraron que los

cambios en la composición del hábitat, especialmente con eliminación de la vegetación nativa, generaban un efecto negativo y duradero sobre el conejo europeo *Oryctolagus cuniculus* (Lagomorpha: Leporidae), en áreas de marisma, dunas móviles y matorral en la península Ibérica.

En general, el conejo castellano de la REPSA restringe su movimiento en las zonas perturbadas de los bordes que fueron estudiados y esto puede indicar que las características de esas áreas ofrecen menor disponibilidad de recursos útiles para el conejo (como el alimento y el refugio) e inciden en su comportamiento (Smith *et al.*, 2004).

Es importante monitorear las interacciones del conejo castellano con otros animales, principalmente porque se sabe que la reserva cada vez es más vulnerable a la introducción de especies de animales exóticos (Zambrano *et al.*, 2016), como lo han sido los perros ferales, quienes influyen en la disminución de la densidad de los conejos (Glebskiy *et al.*, 2018a). Sin embargo, aún no se tiene suficiente información sobre los efectos de interacción entre estos animales.

## **5.2. Efecto de la rugosidad sobre la densidad del conejo castellano**

Los resultados a cerca de la rugosidad del terreno corroboran la existencia de una influencia estadísticamente significativa y negativa de la rugosidad sobre la densidad de pastillas fecales, lo que confirma los hallazgos de Glebskiy (2016), Dorantes (2017) y Glebskiy *et al.* (2018a) quienes reportaron de manera cualitativa

que el conejo castellano prefiere los sitios más planos para establecerse debido a que un terreno más rugoso o complejo topográficamente representa mayores desafíos en cuanto a sus limitadas capacidades morfológicas para escalar (Bertolino *et al.*, 2011).

Además de los estudios antes mencionados, en la literatura no se tiene registro del efecto de la rugosidad del terreno sobre la especie; sin embargo, sí existe registro sobre la tendencia de distribuirse en hábitats que por lo general son zonas de baja rugosidad, que varían a nivel altitudinal, más que en su microtopografía (Chapman y Ceballos, 1990). Esto resalta la gran complejidad que existe en el ecosistema único del Pedregal, y la sorprendente adaptación que ha tenido el conejo castellano a lo largo del tiempo. Es importante mencionar que Cano-Santana (1994b) reportó que existe mayor dominancia de especies vegetales perennes en los sitios planos y abiertos en la reserva, las cuales pueden significar mayores oportunidades de alimento para el conejo, mientras que la productividad primaria neta aérea (PPNA) de las plantas herbáceas es menor en los sitios abruptos y cerrados, lo que coincide de manera general con los sitios reportados para *S. floridanus* que se caracterizan por la presencia de graminoides y forbias perennes que cubren densamente el terreno (Chapman y Ceballos, 1990). Al contrastar la información, la topografía sigue siendo una característica muy importante en la distribución del conejo, pero de acuerdo con la relación topografía-vegetación reportada para la REPSA (Cano-Santana, 1994b), no debe perderse de vista que la vegetación es un componente importante para el este.

Dado que la topografía de la REPSA es irregular y la rugosidad del terreno le confiere a ésta una gran heterogeneidad espacial, encontrar sitios menos abruptos, sin disturbio y que cumplan con las características necesarias para el establecimiento del conejo resulta complejo, por lo que su movimiento probablemente está restringido a parches bien definidos. Se sabe que esta especie de conejo requiere de 1 a 3 ha para su movimiento (Aranda, 2012), pero la creciente alteración del terreno nativo, la dificultad topográfica natural, la presencia de depredadores, las migraciones estacionales en búsqueda de recursos y el aislamiento entre fragmentos, configuran algunas dificultades para el movimiento de este mamífero.

### **5.3. El caso de la Zona Núcleo Oriente**

La Zona Núcleo Oriente (ZNO) (ver figura 3.1) se caracteriza por ser la zona con la topografía más abrupta, con grandes inclinaciones y grietas muy pronunciadas (obs. pers.), y trabajos como el de Glebskiy (2016) y Dorantes (2017) reportan que existe una baja densidad de conejos castellanos posiblemente debido a la topografía, lo que concuerda con lo obtenido en este estudio, pues no se encontró ninguna pastilla fecal en los bordes de esta zona y sugiere que la topografía tiene un papel muy importante en la distribución de los conejos.

Algunos factores que también pueden explicar la ausencia de pastillas fecales son que posiblemente *S. floridanus* se encuentra limitado al interior de la ZNO y que la densidad poblacional es tan reducida que no permitió hacer la evaluación

en este estudio; pues, de acuerdo con Glebskiy (2016) y Dorantes (2017), la densidad poblacional en esta zona ha sido la más baja al compararla con la de las otras tres zonas núcleo que componen la REPSA y, durante el periodo en que se realizó el muestreo (año 2018), la densidad de la población de conejos en la REPSA enfrentaba uno de los momentos más bajos, que abarcó desde el 2014 hasta el 2018 (Glebskiy *et al.*, 2018b). Adicionalmente, la toma de datos se realizó de febrero a marzo durante la época seca en la reserva y, se ha reportado que la población suele disminuir durante esta época, quizá por la escasa disponibilidad de recursos (Glebskiy *et al.*, 2020). Observaciones recientes señalan que la población del conejo ha disminuido aún más en esta zona entre 2014 y 2018 (Glebskiy *et al.*, 2018b).

Otra de las razones por las que la población podría haber disminuido drásticamente es debido a que esta zona ha sido blanco de múltiples incendios en la época seca, siendo el más cercano al momento de la toma de datos el ocurrido en febrero del 2017, el cual afectó una extensión de 1.47 ha (REPSA, 2022). Los incendios son uno de los disturbios de mayor importancia en la REPSA pues cambia sus rasgos físicos y químicos y modifica el comportamiento de algunos organismos (Zambrano *et al.*, 2016). Entre los efectos negativos de los incendios se encuentra la muerte directa de los individuos, estrés y reducción de territorios y áreas de protección y alimento, y en algunos casos facilita la entrada de especies vegetales invasoras (Boer, 1989; Pons, 2001; Arellano y Castillo-Guevara, 2014).

En general, *S. floridanus* ha sido reportada como una especie que puede responder bien al fuego (Komarek, 1969), pero las condiciones del ambiente

definen esa posibilidad y en el caso de la REPSA existen dificultades por la presencia de depredadores, la topografía accidentada y las cercas que impiden su movilidad (Zambrano *et al.*, 2016; L. Álvarez, com. pers.) y es por ello que se contempla la posibilidad de que el incendio sea uno de los factores que influyó en la baja densidad de los conejos y la ausencia total sobre los bordes en esta zona.

Es importante considerar que la REPSA está constituida por fragmentos aislados por bardas y avenidas que imposibilitan la migración de los organismos entre éstos, y que las poblaciones del conejo castellano en cada fragmento son independientes (Dorantes, 2017; L. Álvarez, com. pers.), lo que hace difícil que poblaciones de otros fragmentos ocupen los sitios afectados, y si la población de la ZNO comienza a diezmar, el aislamiento puede conllevar a su extirpación en esa zona dado que sus poblaciones dependen de la tasa de mortalidad y migración (Flux y Angermann, 1990).

Por otra parte, un factor importante en la estructura del hábitat son los depredadores, pues se sabe que en los hábitats que han sido modificados por actividades humanas pueden aumentar su densidad, y con ello, la tasa de depredación (Farías y Fuller, 2009). De acuerdo con Glebskiy *et al.* (2018a) la densidad poblacional del conejo castellano en la REPSA es afectada negativamente por la presencia de perros ferales, y se sabe que el conejo es un elemento predilecto de su dieta (Zambrano *et al.*, 2016), por lo que representan un problema latente y una posible causa de la disminución de sus poblaciones.

## VI. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos y la discusión elaborada, se formulan las siguientes conclusiones:

1. Existe un efecto de borde en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel para el conejo castellano, pues esta especie evita parcialmente las zonas de borde, las cuales sufren efectos relacionados con el disturbio producido por la urbanización y la actividad antropogénica. En contraste, se encontraron más pastillas fecales de conejo castellano conforme se adentraba a las zonas más conservadas del interior de esta reserva.
2. La REPSA tiene una rugosidad muy variada y el método de estimación topográfica permitió la medición cuantitativa del sustrato, por lo que fue posible relacionar con mayor certeza la preferencia de sitios del conejo castellano y ampliar el conocimiento acerca de la dinámica de este organismo.
3. La rugosidad del terreno tiene un efecto significativo y negativo sobre la densidad de conejos castellanos, pues esta especie evita retener actividad en las zonas topográficamente más abruptas, y mantiene mayor actividad en las zonas planas.

## VII. LITERATURA CITADA

- Álvarez J., Carabias J., Meave del Castillo J., Moreno-Casasola P., Nava D., Rodríguez F., Tovar C., Valiente A. 1982. Proyecto para la creación de una reserva ecológica en el Pedregal de San Ángel. En: Rojo A. (comp.). *El Pedregal de San Ángel: Ecología e Historia Natural*. Universidad Nacional Autónoma de México (1994), México, pp. 343-369.
- Anderson E. M., Boutin S. 2002. Edge effects on survival and behavior of juvenile red squirrels (*Tamiasciurus hudsonicus*). *Canadian Journal of Zoology* **80**: 1038-1046.
- Antonio-Garcés J., Peña M., Cano-Santana Z., Villeda M., Orozco-Segovia A. 2009. Cambios en la estructura de la vegetación derivados de acciones de restauración ecológica en las Zonas de Amortiguamiento Biológicas y Vivero Alto. En: Lot A., Cano-Santana Z. (eds.). *Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 465-481.
- Aranda S. J. M. 2000. *Huellas y otros rastros de los mamíferos grandes y medianos de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Veracruz, México.
- Arellano L., Castillo-Guevara C. 2014. Efecto de los incendios forestales no controlados en el ensamble de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) en un bosque templado del centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **85** (3): 854-865.

- Aronson R.B., Swanson D.W. 1997. Video surveys of coral reefs: uni and multivariate applications. *Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium 2*: 1923-1926.
- Bertolino S., Perrone A., Gola L., Vitebi R. 2011. Population density and habitat use of the introduced Eastern cottontail (*Sylvilagus floridanus*) compared to the native European hare (*Lepus europaeus*). *Zoological Studies* **50** (3): 315-326.
- Bittner S. L., Champan J. A. 1979. *Reproductive and physiological cycles in an island population of Sylvilagus floridanus*. Proceedings World Lagomorph Conference, Guelph, Ontario, Canadá.
- Castellanos-Morales G., García-Peña N., List R. 2009. Ecología del cacomixtle (*Bassariscus astatus*) y la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*). En: Lot A., Cano-Santana Z. (eds.). *Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 371-381.
- Cano-Santana Z. 1994a. Flujo de energía a través de *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera: Acrididae) y productividad primaria neta aérea en una comunidad xerófila. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cano-Santana Z. 1994b. La Reserva del Pedregal como ecosistema: estructura trófica. En: A. Rojo (comp.). *Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: Ecología, Historia Natural Y Manejo*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 149-157.

- Cano-Santana Z., Pisanty I., Segura S., Mendoza-Hernández P.E., León-Rico L., Soberón J., Tovar E., Martínez-Romero E., Ruiz L. C. y Martínez-Ballesté A. 2006. Ecología, conservación, restauración y manejo de las áreas naturales y protegidas del Pedregal del Xitle. En: Oyama K. y Castillo A. (eds.). Manejo, conservación y restauración de recursos naturales en México: perspectivas desde la investigación científica. UNAM y Siglo XXI, México, pp. 203-226.
- Chapman J. A., Hockman J. G., Ojeda C. M. M. 1980. *Sylvilagus floridanus*. *Mammalian Species* **136**: 1-8.
- Chapman J. A., Ceballos G. 1990. The cottontails. En: Chapman J. A., Flux J. E. C. (eds.). *Rabbits, Hares and Pikas: Status Survey and Conservation Action Plan*. International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources, Gland, Suiza, pp. 95-110.
- Chapman J. A., Flux J. E. C. 1990. Introduction and overview of the lagomorphs. En: Chapman J. A., Flux J.E.C. (eds.). *Rabbits, hares and pikas: Status Survey and Conservation Action Plan*. International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources, Gland, Switzerland, pp. 1-6.
- Ceballos G., Galindo C. 1984. *Mamíferos Silvestres de la Cuenca de México*. Limusa/MAB, México.
- De la Fuente J. R. 2005. Acuerdo por el que se rezonifica, delimita e incrementa la zona de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria. *Gaceta UNAM* **3813**: 19-21.

- Diersing V. E. 1978. A systematic revision of several species of cottontails (*Sylvilagus*) from North and South America. Tesis doctoral. University of Illinois at Urbana Champaign, Illinois.
- Dorantes V., D. 2017. Distribución y abundancia del conejo castellano, *Sylvilagus floridanus* (Lagomorpha), en la Reserva del Pedregal de San Ángel, Cd. Mx. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Escobedo-Cabrera E., Lorenzo C. 2011. Nuevos registros de *Sylvilagus floridanus* en la Península de Yucatán, México. *Therya* **2** (3): 279-283.
- Farías-González V. 2011. Conceptos ecológicos, métodos y técnicas para la conservación de conejos y liebres. En: Sánchez O., Zamorano P., Peters-Recagno E., Moya H. (eds.). *Temas sobre Conservación de Vertebrados Silvestres en México*. Instituto Nacional de Ecología, México, pp. 229-248.
- Forys E. A., Humphrey S. R. 1999. The importance of patch attributes and context to the management and recovery of an endangered lagomorph. *Landscape Ecology* **14**: 177–185.
- Gill A. G., Flores M. J., Rodríguez M. R. 2015. X Convención Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo, La Habana, Cuba. Disponible en: <http://www.cubambiente.com/es/general13>.
- Glebskiy Y. 2016. Factores que afectan la distribución y abundancia del conejo castellano (*Sylvilagus floridanus*) en la Reserva del Pedregal de San Ángel,

D.F. (México). Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Glebskiy Y., Castellanos-Vargas I., Dorantes-Villalobos D., Cano-Santana Z. 2018a. Role of predators, terrain ruggedness, and plant composition for the abundance of the Eastern Cottontail rabbit (*Sylvilagus floridanus*). *The Southwestern Naturalist* **63** (1): 59-64.

Glebskiy Y., Dorantes-Villalobos D., Cano-Santana Z. 2018b. Dinámica poblacional y consumo de vegetación del conejo castellano (*sylvilagus floridanus*) en un matorral xerófilo de la Ciudad de México. En: Memorias del XIV Congreso Nacional de Mastozoología, Mérida, Yucatán, pp. 59-60.

Glebskiy Y. 2019. Efecto del conejo castellano (*Sylvilagus floridanus*) sobre la comunidad vegetal del Pedregal de San Ángel. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Glebskiy Y., Dorantes-Villalobos D., Cano-Santana Z. 2020. Periodo reproductivo del conejo castellano, *Sylvilagus floridanus*, en un campo de lava de la Ciudad de México a través del análisis de la variación estacional de la abundancia y el tamaño de sus heces. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **91**.

Granados P. M. 2008. Ecología de mamíferos silvestres y ferales de la Reserva Ecológica "El Pedregal": Hacia una propuesta de manejo. Tesis de maestría. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Hall E. R. 1981. The mammals of North America. *Journal of Mammalogy* **63** (3): 717-718.

- Hortelano-Moncada Y., Cervantes F., Trejo A. 2009. Mamíferos silvestres. En: Lot A., Cano-Santana Z. (eds.). *Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 277-293.
- Komarek E. V. 1969. Fire and animal behavior. En: Komarek E. V. (ed.). *Proceedings Tall Timbers Fire Ecology Conference No. 9*. Tall Timbers Research Station, Tallahassee, Florida, pp. 160-207.
- Krebs C. J., Gilbert B. S., Boutin S., Boonstra R. 1987. Estimation of snowshoe hare population density from turd transects. *Canadian Journal of Zoology* **65** (3): 565-567.
- Kunst P. J. G., van der Wal R., van Wieren S. 2001. Home ranges of brown hares in a natural salt marsh: comparisons with agricultural systems. *Acta Theriologica* **46**: 287-294.
- Laurance W. F., Bierregaard R. O. Jr., Gascon C., Didham R. K., Smith A. P., Lynam A. J., Viana V. M., Lovejoy T. E., Sieving K. E., Sites J. W. Jr., Andersen M., Tocher M. D., Kramer E. A., Restrepo C., Moritz C. 1997. Tropical forest fragmentation: synthesis of a diverse and dynamic discipline. En: Laurance W. F., Bierregaard R. O. Jr., Gascon C. (eds.). *Tropical Forest Remnants*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, EE. UU., pp. 502-514.
- Lidicker W. Z. J. 1999. Responses of mammals to habitat edges: an overview. *Landscape Ecology* **14**: 333-343.

- Lidicker W. Z. J., Peterson J. A. 1999. Responses of small mammals to habitat edges. En: Barrett G.W., Peles J.D. (eds.). *Landscape Ecology of Small Mammals*. Springer-Verlag, Berlín, Alemania, pp. 211-227.
- Lidicker W. Z. J. 2000. A food web/landscape interaction model for microtine rodent density cycles. *Oikos* **91**: 435-445.
- López-Barrera F. 2004. Estructura y función en bordes de bosques. *Ecosistemas* **13**: 67-77.
- López P. 2017. Avistan una zorra gris en el Pedregal. Aceleran planes para reintroducirla. *GASETA UNAM* **4899**.
- Lot A., Pérez-Escobedo M., Gil-Alarcón G., Rodríguez-Palacios S., Camarena P. 2012. *La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: Atlas de Riesgos*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Mankin P. C., Warner R. E. 1999. Responses of eastern cottontails to intensive row-crop farming. *Journal of Mammalogy* **80** (3): 940-949.
- Marin M., Bastardie F., Richard D., Burel F. 2001. Studying boundary effects on animal movement in heterogeneous landscapes: the case of *Abax ater* (Coleoptera Carabidae) in hedgerow network landscapes. *Ecologie* **324**: 1029-1035.
- Montesinos-Laffont A. I. 2013. Efecto de borde sobre los roedores nativos y exóticos de las zonas núcleo de la Reserva del Pedregal de San Ángel, D.F. (México), con énfasis en *Peromyscus gratus*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Murcia C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* **10**: 58-62.

NaturaLista. Portal. En: <www.naturalista.mx>, última consulta: 28 de septiembre de 2021.

Nelson E. W. 1904. Description of seven new rabbits from Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington* **17**:103-110.

Nelson E. W. 1909. The rabbits of North America. *North American Fauna* **29**: 1-314.

Noguez-Ledesma L.P. 2020. Efecto de borde sobre la estructura de la comunidad vegetal de la Reserva del Pedregal de San Ángel, Cd. Mx. (México). Manuscrito no publicado para Tesis de licenciatura. Taller de Ecología Terrestre y Manejo de Recursos Bióticos, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Odum E. P., Barrett G. W. 2005. *Fundamentos de Ecología*. CENGAGE Learning, México.

Palomares F., Calzada J., Revilla E. 1999. El manejo del hábitat y la abundancia de conejos: diferencias entre dos áreas potencialmente idénticas. *Revista Forestal* **9** (1): 201-210.

Peña-Becerril J. C., Monroy-Ata A., Álvarez-Sánchez F. J., Orozco-Almanza M. S. 2005. Uso del efecto de borde de la vegetación para la restauración ecológica del bosque tropical. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* **8** (2): 91-98.

- Pierce J. E., Larsen R. T., Flinders J. T., Whiting J. C. 2010. Fragmentation of sagebrush communities: does an increase in habitat edge impact pygmy rabbits? *Animal Conservation*. **14**: 314-321.
- Pons P. 2001. Consecuencias de los incendios forestales sobre los vertebrados y aspectos de su gestión en regiones mediterráneas. En: Camprodón J., Plana E. (eds.). *Conservación de la Biodiversidad y Gestión Forestal: su Aplicación en la Fauna Vertebrada*. Publicaciones y Ediciones Universidad de Barcelona, Barcelona, pp. 197-211.
- RAE, Real Academia Española. Portal. En: <[www.rae.es](http://www.rae.es)>, última consulta: 20 de septiembre de 2021.
- Ramos-Rendón A. K. 2010. Evaluación poblacional de mamíferos medianos en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, hacia un programa de control de gatos ferales. Tesis de maestría. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Reitz F., Léonard Y. 1994. Characteristics of European hare *Lepus europaeus* use of space in a French agricultural region of intensive farming. *Acta Theriologica* **39**: 143-157.
- REPSA, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. 2022. Portal. En: <[www.repsa.unam.mx](http://www.repsa.unam.mx)>, última consulta: 24 de febrero de 2022.
- Risk M.J. 1972. Fish diversity on a coral reef in the Virgin Islands. *Atoll Research Bulletin* **193**: 1-6.

- Rodríguez A., Andren H., Jansson G. 2001. Habitat-mediated predation risk and decision making of small birds at forest edges. *Oikos* **95**: 383-396.
- Ruán-Tejeda I. 2006. Efectos de la fragmentación sobre las comunidades de pequeños mamíferos en remanentes de bosque mesófilo de montaña en el centro de Veracruz. Tesis de maestría. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, México.
- Rzedowski J. 1954. Vegetación del Pedregal de San Angel. En: Rojo, A. (comp.). *Reserva Ecológica "El Pedregal" de San Ángel: Ecología, Historia Natural y Manejo*. Universidad Nacional Autónoma de México (1994), México, pp. 9-65.
- Siebe C. 2009. La erupción del volcán Xitle y las lavas del pedregal hace 1670 +/- 35 años AP y sus implicaciones. En: Lot A., Cano-Santana Z. (eds.). *Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 43-49.
- Smith A. T. 1990. Introduction. En: Chapman J. A., Flux J. E. C. (eds.). *Rabbits, Hares and Pikas: Status Survey and Conservation Action Plan*. International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources, Gland, Suiza, pp. 1-2.
- Smith R. K., Jennings N. V., Robinson A., Harris S. 2004. Conservation of European hares *Lepus europaeus* in Britain: is increasing habitat heterogeneity in farmland the answer? *Journal of Applied Ecology* **41**: 1092-1102.

- SMN, Servicio Meteorológico Nacional. 2014. Portal. En: <smn.cna.gob.mx>, última consulta: 4 de octubre de 2018.
- Stamps J.A., Buechner M., Krishnan V.V. 1987. The effects of edge permeability and habitat geometry on emigration from patches of habitat. *The American Naturalist* **129**: 533-552.
- Suzán G., Ceballos G. 2005. The role of feral mammals on wildlife infectious disease prevalence in two nature reserves within Mexico City limits. *Zoo and Wildlife Medicine* **36**: 479-484.
- Vigós E., Cabezas-Díaz S., Malo A., Lozano J., López-Huertas D. 2003. Factors shaping european rabbit abundance in continuous and fragmented populations of central Spain. *Acta Theriologica* **48**: 113–122.
- Wiens J.A. 1995. Landscape mosaics and ecological theory. En: Hansson L., Fahrig L., Merriam G. (eds.). *Mosaic Landscapes and Ecological Processes*. Springer, Dordrecht y Londres.
- Wiens J.A., Crawford C.S., Gosz, J.R. 1985. Boundary dynamics: a conceptual framework for studying landscape ecosystems. *Oikos* **45**: 421-427.
- Zambrano L., Rodríguez-Palacios S., Pérez-Escobedo M., Gil-Alarcón G., Camarena P., Lot A. 2016. *La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: Atlas de Riesgos*. 2da. edición. Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

## Apéndice I.

### Mapa de comparación entre sitios muestreados y visualización de los transectos con mayor y menor densidad de pastillas fecales.

Algunos de los transectos muestreados presentaron un mayor número de pastillas fecales, lo que indica que los conejos tuvieron una mayor actividad. Los transectos fueron numerados y cinco de ellos presentaron la mayor actividad de conejos (9, 8 y 6 de la Zona Núcleo Poniente; 18 y 19 de la Zona Núcleo Sur Oriente; Fig. A1.1). Los transectos con menor actividad registrada fueron cinco (2, 5 y 7 de la Zona Núcleo Poniente; 20 y 21 de la Zona Núcleo Sur Oriente; Fig. A1.1).



Figura A1.1. Mapa de los transectos realizados, los cuales se presentan numerados e ilustrados con puntos amarillos. Los colores de los números indican una clasificación en tres niveles del número de pastillas fecales que en promedio se encontraron. La escala va de menor a mayor: azul claro (menor valor), azul (valor intermedio) y azul oscuro (mayor valor).

## Apéndice II.

### Relación entre nivel de rugosidad y densidad de pastillas por transecto.

La relación entre el nivel de rugosidad y la cantidad de pastillas fecales pudo verse incluso desde la toma de las muestras. Para mayor visualización de los datos se presenta el siguiente gráfico, en donde se puede observar que los transectos que en promedio tenían mayor número de pastillas fecales, en general presentaron los niveles de rugosidad más bajos, lo que quiere decir que hubo mayor actividad de conejos en los sitios más planos o menos abruptos; en viceversa, los sitios con menor número de pastillas fecales presentaron los niveles de rugosidad más altos, es decir, hubo menor actividad de los conejos en los sitios más abruptos.

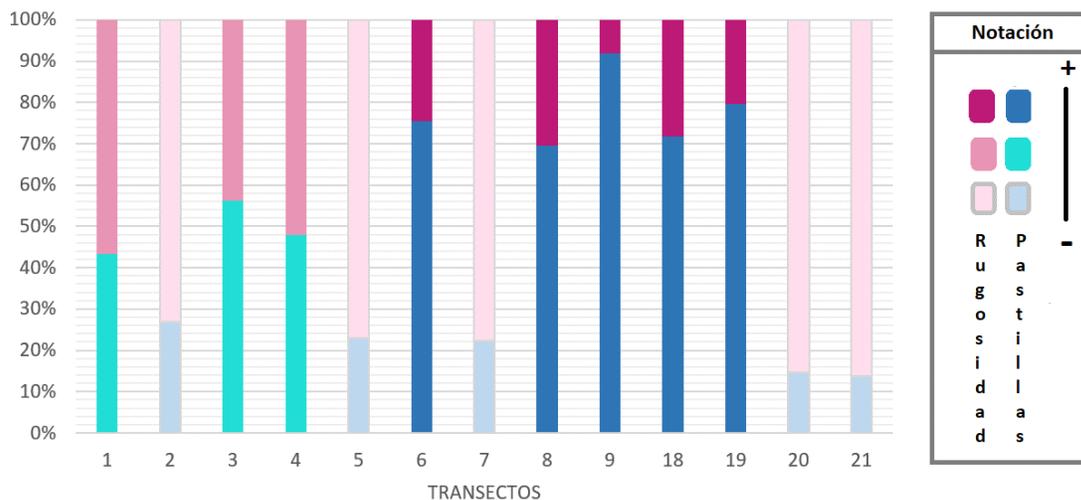


Figura A2.1. Comparación entre los transectos con mayor y menor número de pastillas fecales y su respectivo nivel de rugosidad. De acuerdo con la densidad de pastillas de cada transecto, es la intensidad de los colores, de manera que los colores más oscuros (azul marino y morado) representan los sitios con mayor número de pastillas que, a su vez, presentaron los niveles de rugosidad más bajos. Los colores intermedios (azul medio y magenta) representan valores intermedios. Los colores más claros (azul cielo y magenta pastel) representan los sitios con menor densidad de pastillas fecales, así como los mayores niveles de rugosidad. Los valores están representados por transecto de las dos variables estudiadas (pastillas fecales y rugosidad).

### Apéndice III.

Coordenadas por el número de transecto y por zona núcleo estudiada. El número de transecto corresponde con la numeración presentada en la Fig. A3.1.

No. Transecto	Coordenadas	Zona Núcleo
1	19.317421, -99.188946	Zona Núcleo Poniente
2	19.320236, -99.189194	
3	19.318106, -99.197300	
4	19.315809, -99.198780	
5	19.319764, -99.196302	
6	19.310079, -99.190626	
7	19.310581, -99.193327	
8	19.313177, -99.187458	
9	19.322719, -99.190556	
10	19.317320, -99.180687	Zona Núcleo Oriente
11	19.317600, -99.184632	
12	19.317906, -99.187092	
13	19.319508, -99.187912	
14	19.320898, -99.188094	
15	19.322419, -99.183438	
16	19.322647, -99.180298	
17	19.320384, -99.176458	
18	19.311806, -99.178977	Zona Núcleo Sur-Oriente
19	19.313063, -99.178805	
20	19.315446, -99.178527	
21	19.316939, -99.177437	