



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

## **POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

INSTITUTO DE BIOLOGÍA

MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

**CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA TRÓFICA DE LOS MAMÍFEROS MEDIANOS DEL  
PEDREGAL DE SAN ÁNGEL, CIUDAD DE MÉXICO.**

# **TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**MARCELA NEGRETE GONZÁLEZ**

**TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ**  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM

**COMITÉ TUTOR: DR. JOSÉ JAIME ZÚÑIGA VEGA**  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

**COMITÉ TUTOR: DR. RODRIGO ANTONIO MEDELLÍN LEGORRETA**  
INSTITUTO DE ECOLOGÍA, UNAM

**CD. MX.**

**ENERO, 2020**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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





# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

## **POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

INSTITUTO DE BIOLOGÍA

MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

**CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA TRÓFICA DE LOS MAMÍFEROS MEDIANOS DEL  
PEDREGAL DE SAN ÁNGEL, CIUDAD DE MÉXICO.**

# **TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**MARCELA NEGRETE GONZÁLEZ**

**TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ**  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM

**COMITÉ TUTOR: DR. JOSÉ JAIME ZÚÑIGA VEGA**  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

**COMITÉ TUTOR: DR. RODRIGO ANTONIO MEDELLÍN LEGORRETA**  
INSTITUTO DE ECOLOGÍA, UNAM

**MÉXICO, CD. MX.**

**ENERO, 2020**

COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE BIOLOGIA

OFICIO CPCB/026/2019

ASUNTO: Oficio de Jurado

**M. en C. Ivonne Ramírez Wence**  
Directora General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión del Subcomité por Campo de Conocimiento de Biología Experimental y Biomedicina del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 7 de octubre de 2019, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en el campo de conocimiento de **MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS** de la alumna **NEGRETE GONZÁLEZ MARCELA** con número de cuenta **411019754** con la tesis titulada **“Caracterización de la estructura trófica de los mamíferos medianos del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México”**, realizada bajo la dirección del **DR. LUIS ZAMBRANO GONZALEZ**, quedando integrado de la siguiente manera:

Presidente: DRA. ELLA GLORIA VAZQUEZ DOMINGUEZ  
Vocal: DR. JORGE ORTEGA REYES  
Secretario: DR. JOSE JAIME ZUÑIGA VEGA  
Suplente: DR. ENRIQUE MARTINEZ MEYER  
Suplente: DR. LUIS GERARDO HERRERA MONTALVO

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**“POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”**  
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., a 11 de diciembre de 2019.

**COORDINADOR DEL PROGRAMA**



**DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA**



c. c. p. Expediente del alumno

**COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**UNIDAD DE POSGRADO**

Edificio D, 1º Piso. Circuito de Posgrados, Ciudad Universitaria  
Alcaldía Coyoacán. C. P. 04510 CDMX  
Tel. (+5255)5623 7002 <http://pcbiol.posgrado.unam.mx/>

## **Agradecimientos institucionales**

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme las herramientas académicas e institucionales para desarrollar mi tesis. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca 853751 otorgada, la cual me permitió completar mis estudios de posgrado y realizar este trabajo. Al Proyecto PAPIIT-UNAM IV200117 por el financiamiento otorgado. Finalmente, al Dr. Luis Zambrano, asesor principal de esta tesis y a los miembros del comité tutor: el Dr. J. Jaime Zúñiga Vega y el Dr. Rodrigo A. Medellín Legorreta.

## **Agradecimientos personales**

A mis padres y a mi hermana, que siempre me han apoyado e impulsado a seguir adelante. En especial a mi mamá, Martha González Mogollán, por todo tu cariño, por creer en mí y escucharme en los momentos difíciles.

A Manuel Bonilla, por tu amor, comprensión y tu apoyo incondicional en prácticamente todas las fases de este trabajo. Gracias por acompañarme en este periodo, en el que juntos hemos crecido mucho en diferentes aspectos.

Agradezco enormemente a mi tutor Luis Zambrano González por la confianza y por darme la oportunidad de realizar este proyecto, del cual he aprendido tanto. También quisiera agradecer todos sus consejos y asesoría, otorgados incluso a larga distancia y en sus días más ocupados.

Al Dr. J. Jaime Zúñiga Vega y al Dr. A. Rodrigo Medellín Legorreta, por el seguimiento, revisión y observaciones hechas a lo largo de este trabajo.

A los miembros del jurado: la Dra. Ella Gloria Vázquez, el Dr. Enrique Martínez Meyer, el Dr. J. Jaime Zúñiga Vega, el Dr. Jorge Ortega Reyes, y el Dr. L. Gerardo Herrera Montalvo, por los comentarios y observaciones que ayudaron a mejorar el trabajo.

Al personal del Bosque de Tlalpan, en especial a G. Sofía Munguía, Alan D. Gamborino y a la Bióloga Elizabeth Laura Mendoza, por todo el apoyo y las facilidades otorgadas durante los muestreos y el trabajo de campo en general.

Al personal de la SEREPSA, especialmente al Departamento de Protección de flora y fauna, por sus consejos, por las muestras otorgadas, así como por el préstamo de material para realizar los muestreos.

A las M. en C. Julieta Vargas, Yolanda Hortelano y al Dr. Fernando Cervantes, por permitirme trabajar en la Colección Nacional de Mamíferos del IB y obtener muestras de los organismos que resguardan. Igualmente agradezco a la Dra. Livia Socorro León, por concederme el permiso para tomar muestras de organismos del Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias.

De manera muy especial agradezco a la M. en C. Karina Ramos Rendón, por toda la ayuda otorgada. Gracias por tu amistad, el apoyo logístico y por todos tus conocimientos compartidos, que fueron infinitamente valiosos durante los muestreos.

Al Dr. Fernando Gual Sill, por todas sus valiosas enseñanzas durante los muestreos. Al Dr. Enrique Martínez Meyer, por el préstamo de trampas para realizar este trabajo. Al Dr. Zenón Cano Santana, por siempre estar al pendiente de mí y tener un tiempo disponible para hablar del trabajo, pero también de la vida.

A Daniela Mejía y a Alejandra Argüelles, por dejarme colaborar con ustedes en sus muestreos de mamíferos y obtener muestras para este trabajo.

A todos los profesores que tuve durante la maestría, en especial a los doctores L. Gerardo Herrera, Jorge E. Schondube y Alexander Correa, por sus excelentes enseñanzas que aportaron mucho durante el desarrollo de este trabajo.

A Noemí Chávez Castañeda, por su apoyo durante el envío de las muestras que fueron analizadas.



A la Dra. Elisa Maya Elizarrarás y al Dr. Fernando Córdova por su ayuda durante el análisis de los datos.

Agradezco a mis amigos que colaboraron durante el trabajo de campo y la obtención de las muestras:

Abril A. Villagrán, Alejandra Arguelles, Ángeles Martínez, David E. Andrade, Diana Laura Vázquez, Leopoldo Andrade, Ernesto Espinosa, Helí Coronel, Horacio Mena, Jhonatan Iván Burgos, Laura J. Landeta, Luis J. Aguirre, Manuel Bonilla, Marili Aguirre, Michelle Carrillo, Miguel Ignacio Rivas, Monserrat Gaspar, Octavio Gutiérrez, Paola García, Verónica Santoyo, Surya Ivonne González y Diana Ferrusca. Gracias en especial a J. Cristóbal Pérez, quien apoyó en casi todos los muestreos del Bosque de Tlalpan, incluso los días en que nadie más podía asistir.

A todos los integrantes del Laboratorio de Restauración Ecológica: Miguel Ignacio Rivas, Horacio Mena, Marcelo Canteiro, Maya S. Rubio, Ana Soler, Carlos Usumano, Rubén Rojas, Belkis Zaz, Diana Laura Vázquez, Helí Coronel, Tania Fernández, Cristina Ayala, por todos los agradables momentos compartidos, su apoyo, buen humor y por soportar el olor a sardina en el laboratorio.

Finalmente, agradezco a Brenda Ramírez, Daniela Hernández, Adolfo Chavarría, Antonio Jiménez, Dante Ávila, Octavio Gutiérrez, Fernando García y a todos los amigos que conocí durante este periodo, por todos los buenos momentos que hemos compartido y por sus palabras de ánimo.

¡Gracias a todos!

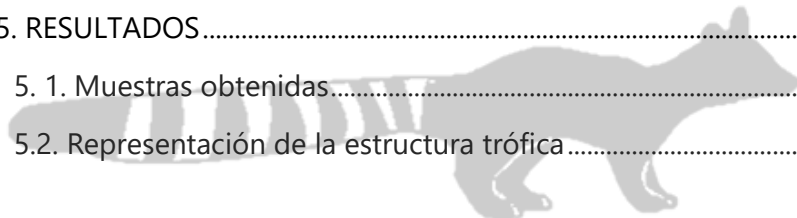
*A mis padres: Víctor M. Negrete y M. Martha González*

*A mi hermana: Alejandra Negrete*

*A todas las personas que trabajan, y han trabajado, por la conservación del  
ecosistema del Pedregal de San Ángel, un hermoso lugar, lleno de vida.*

# ÍNDICE

RESUMEN .....	1
ABSTRACT.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. Mamíferos exóticos invasores .....	5
1.2. El estudio de la estructura trófica.....	6
1.3. Mamíferos del ecosistema del Pedregal de San Ángel.....	7
2. OBJETIVO .....	11
3. ANTECEDENTES.....	12
3.1. Estudios previos sobre los mamíferos medianos del Pedregal de San Ángel .....	12
3.2. Análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno .....	14
4. MÉTODOS.....	16
4.1. Sitio de estudio .....	16
4.4.1. REPSA .....	16
4.4.2. Bosque de Tlalpan .....	17
4.2. Trabajo de campo .....	20
4.2.1. Muestreo de mamíferos medianos .....	20
4.2.2. Obtención de muestras de alimentos naturales de los mamíferos medianos .....	23
4.3. Análisis de isótopos estables .....	24
4.3.1. Procesamiento de las muestras.....	24
4.3.2. Fundamentos del análisis de isótopos estables.....	25
4.4 Análisis de datos.....	27
4.4.1. Representación de la estructura trófica.....	28
4.4.3. Análisis de nicho trófico .....	29
4.4.4. Comparación de los nichos tróficos de los mamíferos capturados en diferentes temporadas y sitios .....	29
5. RESULTADOS.....	30
5. 1. Muestras obtenidas.....	30
5.2. Representación de la estructura trófica.....	31



5.3. Comparación en el traslape de nicho trófico.....	38
5.4. Variación en el uso de recursos entre temporadas y sitios.....	41
6. DISCUSIÓN.....	48
6.1. Interacciones de perros y gatos introducidos.....	52
6.3. Alimento humano en la dieta de los mamíferos.....	54
6.3. Estructura trófica, implicaciones para la conservación.....	55
7. CONCLUSIONES.....	57
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
ANEXO A.....	I
ANEXO B.....	II
ANEXO C.....	V
ANEXO D.....	VII



---

## RESUMEN

La fauna silvestre que logra permanecer en las áreas urbanas se encuentra expuesta a la presencia de animales introducidos asociados al ser humano. Por esto, es esencial comprender los efectos que estas especies tienen sobre la fauna nativa, así como sobre los procesos ecosistémicos. El estudio de la estructura trófica de la comunidad permite comprender las interacciones entre especies nativas y exóticas. Dicha información es relevante para formular estrategias dirigidas a conservar la biodiversidad local en las zonas urbanas. En el presente estudio se describió la estructura trófica de los mamíferos medianos nativos e introducidos en dos remanentes de matorral xerófilo, inmersos en la Ciudad de México. El trabajo se realizó en Ciudad Universitaria (que alberga la Reserva del Pedregal de San Ángel o REPSA) y el Bosque de Tlalpan (BT), en el Pedregal de San Ángel. Se colectaron tejidos de animales y plantas para obtener sus firmas isotópicas de carbono y nitrógeno. Se describieron aspectos de la estructura trófica, como la importancia de cada tipo de vegetación para los mamíferos medianos y sus presas, así como la posición del nicho trófico de las especies analizadas. Se realizó una comparación de la superposición del nicho de las especies de mamíferos medianos capturadas en diferentes temporadas y sitios. De acuerdo con los resultados, los tlacuaches (*Didelphis virginiana*), cacomixtles (*Bassariscus astutus*), zorrillos (*Spilogale putorius angustifrons* y *Mephitis macroura*) y zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) de este ecosistema se encuentran en los niveles más altos de la estructura trófica, aunque ciertos grupos de presas poseen mayor importancia para cada especie. Por un lado, los aportes a la alimentación de los cacomixtles y zorrillos provienen de animales que se alimentan tanto de vegetación C<sub>3</sub> como de C<sub>4</sub>-CAM. Mientras que el principal aporte nutricional en la alimentación de los tlacuaches es obtenido

---

principalmente de presas que se alimentan de la vegetación C<sub>3</sub>. De manera particular, se pudo concluir que la dieta de la población de tlacuaches en Ciudad Universitaria es muy variable entre individuos, por otro lado, en el BT los tlacuaches mantienen una dieta similar entre individuos, la cual se modifica dependiendo de la temporada, pero la elección de la dieta cambia siguiendo un patrón afín entre los individuos de la población. En cuanto a las especies introducidas, los gatos (*Felis catus*) consumen una amplia variedad de presas que se encuentran en distintos tipos de vegetación, mientras que el perro (*Canis lupus familiaris*) presentó el área de nicho trófico más reducida, la cual se empalmó con una pequeña fracción del nicho del gato. Además, se concluyó que los cacomixtles y tlacuaches no representan un aporte importante para la dieta de estas especies introducidas. Este trabajo sugiere que el gato es la especie que interfiere de forma más evidente en las redes tróficas de la fauna nativa silvestre y podría tener efectos adversos para estas especies, pues además de consumir una gran variedad de presas nativas, su nicho trófico se empalma con el de los mamíferos depredadores nativos, lo cual indica que existe competencia por los recursos alimenticios. Por tanto, los esfuerzos de control de gatos en el ecosistema del Pedregal de San Ángel podrían beneficiar de manera indirecta a las poblaciones de depredadores nativos, al restituir sus interacciones tróficas y disminuir las presiones de competencia por las presas. Sin embargo, para confirmar esto, se recomienda implementar el monitoreo continuo de la abundancia de estas especies y de la estructura trófica de la cual forman parte, conforme se realizan estas medidas de manejo.

**Palabras claves:** especies exóticas, ecosistema urbano, isótopos estables, mamíferos medianos, nicho trófico.



---

## ABSTRACT

Wildlife that manages to remain in urban areas is exposed to the presence of exotic animals associated to humans. For this reason, it is essential to understand the effects that these species have over native fauna, as well as over ecosystem processes. Interactions between native and exotic species can be analyzed with the study of the trophic structure of the community. The information obtained with this analysis is relevant to formulate local biodiversity conservation strategies in urban areas. The present study describes the trophic structure of native and exotic middle-sized mammals in two xerophytic scrub remnants within México City. The work was carried out in the main campus of the National Autonomous University of Mexico, known as University City, and at the Forest of Tlalpan, both located at the lava field of San Ángel. Animal and plant tissue samples were collected to obtain their carbon and nitrogen isotopic values. Aspects of the trophic structure are described, such as the importance of each vegetation type for middle-sized mammals and their prey, as well as the location of the trophic niche of the analyzed species. The niche overlap for the different middle-sized-mammal species was compared for different seasons and sites. Results showed that possums (*Didelphis virginiana*), ringtails (*Bassariscus astutus*), skunks (*Spilogale putorius angustifrons* and *Mephitis macroura*) and the gray fox (*Urocyon cinereoargenteus*) from the lava field ecosystem are located at the highest levels of the trophic structure, although certain preys are more important to each species. On one hand, the contributions to the nutrition of ringtails and skunks come from animals that feed upon  $C_3$  and  $C_4$ -CAM plants. While the main nutritional contribution for the gray fox and the possums comes from prey that feeds upon  $C_3$  plants. The diet of the possum population at University City is highly variable between individuals, while at the Forest of Tlalpan, possum individuals have a more similar diet, with food items changing in the

---

whole population between seasons. For the case of exotic species, cats (*Felis catus*) consume a wide variety of prey from different kinds of vegetation, while dogs (*Canis lupus familiaris*) showed a narrow trophic niche, which merely overlapped with the cat's niche. This study suggests that cats interfere to a greater extent in the trophic webs of native wildlife and have adverse effects for these species since, in addition of consuming a great variety of preys, their trophic niche overlaps with that of the native mammalian predators, which indicates competition for food resources, especially with the ringtail and skunks. Therefore, efforts to control cats in the lava field ecosystem may indirectly benefit populations of native middle sized-mammals by allowing the resume of their trophic interactions and lowering pressures from competition for preys. Nevertheless, to confirm this, it would be important to monitor the trophic structure as the control actions for cats are carried out.

**Keywords:** exotic species, middle-sized mammals, stable isotopes, trophic niche, urban ecosystem.



---

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Mamíferos exóticos invasores

Las alteraciones ambientales generadas por las actividades humanas se encuentran entre las mayores amenazas para la biodiversidad (Czech *et al.*, 2000; Angold *et al.*, 2006; McKinney, 2008). Entre estas alteraciones, está la introducción de especies exóticas invasoras, la cual representa una de las presiones más perjudiciales para el funcionamiento de los ecosistemas (Hooper *et al.*, 2005) y es considerada la segunda causa más importante de pérdida de biodiversidad a nivel mundial, sólo después de la pérdida del hábitat (Neville y Murphy, 2001; Aguirre-Muñoz *et al.*, 2009; Bellard *et al.*, 2016; Dickman *et al.*, 2016).

La introducción de especies actualmente afecta a casi todos los ecosistemas del planeta (Simberloff *et al.*, 2013). Las especies exóticas se tornan invasoras después de establecerse en un nuevo entorno, donde experimentan un rápido crecimiento poblacional (Thomsen *et al.*, 2011; Harvey y Fortuna, 2012). Los invasores desplazan a las especies locales y pueden llegar a afectar el funcionamiento del ecosistema entero al modificar las cadenas tróficas los ciclos de nutrientes o del agua del nuevo hábitat (Croll *et al.*, 2005; Hopcraft *et al.*, 2009; Wardle *et al.*, 2007; Sousa *et al.*, 2011; Harvey y Fortuna, 2012; Lapiedra *et al.*, 2015).

Los mamíferos introducidos son el grupo que ha ocasionado los impactos más severos en los ecosistemas terrestres (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2009). Éstos pueden afectar de manera negativa a la fauna local a través de la depredación (Doherty *et al.*, 2015; 2016), la competencia por recursos (Boitani, 2001; MacDonald y Thom, 2001; Glen y Dickman, 2005) o mediante la introducción y propagación de enfermedades y parásitos (Tompkins *et al.*, 2003; Glen y Dickman, 2005; Cruz-Reyes, 2009). Por un lado, los mamíferos herbívoros introducidos pueden actuar como dispersores de semillas, reducir la

---

abundancia o eliminar especies de plantas nativas y facilitar nuevas invasiones (Nuñez *et al.*, 2008; Davis *et al.*, 2010). Además, el aumento poblacional de los herbívoros exóticos puede resultar en el aumento de las poblaciones de depredadores nativos (Carlsson *et al.*, 2009), e incrementar a su vez la depredación sobre las presas nativas (Vander-Zander *et al.*, 2006).

Respecto a los mamíferos depredadores introducidos, éstos son posiblemente el grupo de animales más dañino para la biodiversidad global (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2009; Bellard *et al.*, 2016), en especial para aves y mamíferos nativos (Doherty *et al.*, 2016). Su impacto principal es a través de la depredación directa (Doherty *et al.*, 2015; 2016), lo que causa el declive y extinción de las poblaciones de fauna local, y puede generar un “efecto en cascada” en la composición y abundancia de especies de depredadores, herbívoros y plantas (Croll *et al.*, 2005; Hopcraft *et al.*, 2009), alterando el ecosistema entero. Dados los impactos que pueden ocasionar los mamíferos introducidos, es esencial comprender y evaluar cómo alteran la estructura de las comunidades nativas y profundizar en el estudio de sus interacciones interespecíficas (Iriarte *et al.*, 2005; Quiroz *et al.*, 2009).

## 1.2. El estudio de la estructura trófica

Una manera de interpretar las interacciones entre especies nativas e introducidas es mediante el estudio de la estructura trófica de la comunidad. La estructura trófica se refiere a la esquematización de las cadenas alimentarias, entrelazadas en tramas que conforman una red trófica (Vander-Zanden *et al.*, 2006), por medio de la cual se representa el flujo de materia y energía de los productores primarios a los niveles tróficos superiores (Ricklefs y Miller, 2000).

El análisis de las interacciones tróficas debe ser tomado en cuenta durante el manejo de un ecosistema donde habitan especies introducidas. Sin embargo, a menudo los esfuerzos de conservación se dirigen a una especie a la vez (Glen y Dickman, 2005), sin considerar los efectos

---

indirectos que pueda haber sobre otras especies. Por ejemplo, la presencia de cierta especie exótica podría estar siendo el factor que impide el restablecimiento de una especie nativa que se esté tratando de reintroducir (Vander-Zanden *et al.*, 2006). De igual manera, es útil conocer las relaciones tróficas dadas entre especies exóticas, pues hay casos en que, al retirar un depredador exótico, se libera a otra especie exótica de la depredación o la competencia, facilitando su crecimiento poblacional (Glen y Dickman, 2005; Vander-Zanden *et al.*, 2006). Por tanto, la comprensión de la ecología trófica de la comunidad es de utilidad para formular estrategias mejor sustentadas, que ayuden a la recuperación de las especies nativas y de los procesos ecosistémicos.

### 1.3. Mamíferos del ecosistema del Pedregal de San Ángel

En la Ciudad de México, la zona conocida como Pedregal de San Ángel posee uno de los ecosistemas originales de mayor valor ambiental para esta región: el matorral xerófilo de palo loco *Pittocaulon praecox* (Rzedowski, 1954). Este hábitat se formó en el año  $280 \pm 35$  de nuestra era, por el derrame de lava del volcán Xitle (Siebe, 2000; 2009). El ecosistema que alberga el pedregal se distingue por tener poco suelo, con una topografía muy heterogénea (Rzedowski, 1954), lo cual favorece que existan diferentes microambientes y una extraordinaria diversidad biológica (Rojo y Rodríguez, 2002).

Originalmente, este ecosistema ocupó una extensión de unos 80 km<sup>2</sup> (Siebe, 2000) pero en la actualidad cerca del 84 % del área original del pedregal ha sido cubierta por la mancha urbana de la Ciudad de México (Cano-Santana *et al.*, 2006). Los últimos remanentes del matorral se encuentran en tres sitios principales: en parte de la Reserva Ecológica Lomas del Seminario, en el predio particular “Los Encinos” y en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (en adelante referida como REPSA). También existen fragmentos de matorral en la zona arqueológica de Cuicuilco, en partes del Bosque

de Tlalpan (en adelante referido como BT), así como en predios aislados de las colonias aledañas al Ajusco y en el fraccionamiento Jardines del Pedregal (Peralta y Prano, 2009; Fig. 1).

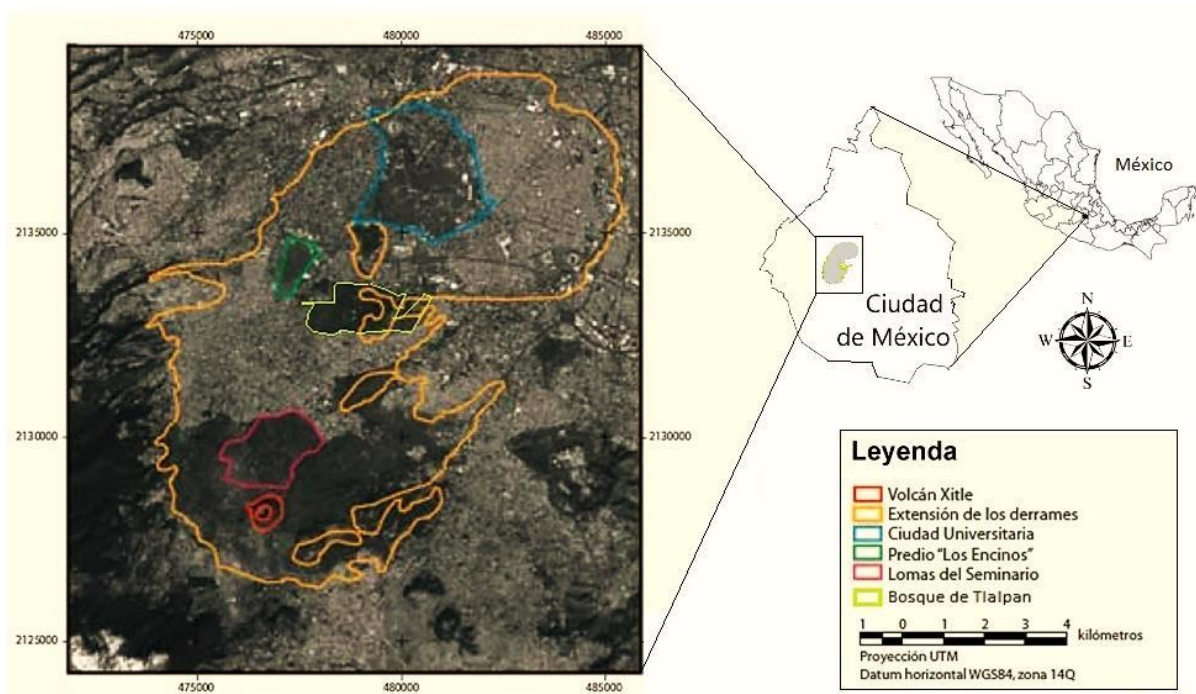


Figura 1. Ubicación del Pedregal de San Ángel en la Ciudad de México. En el mapa se indica la extensión original del pedregal delimitada en color amarillo y los remanentes del ecosistema delimitados con otros colores (Imagen modificada de Peralta y Prado, 2009).

Históricamente, en la zona del Pedregal de San Ángel se han reportado hasta 37 especies de mamíferos nativos (Ceballos y Galindo, 1984; Álvarez *et al.*, 1994; Negrete y Soberón, 1994), de las cuales, en la REPSA se tienen registradas 33 especies, que incluyen 13 roedores, una musaraña, 12 murciélagos y siete especies de mamíferos medianos: cacomixtle (*Bassariscus astutus*), tlacuache (*Didelphis virginiana*), zorrillo moteado (*Spilogale putorius angustifrons*), conejo castellano (*Sylvilagus floridanus*), zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), zorrillo encapuchado (*Mephitis macroura macroura*) y comadreja (*Mustela frenata frenata*; Hortelano-Moncada *et al.*, 2009; ver Fig. 2).

Las poblaciones de mamíferos medianos que han permanecido en los remanentes del ecosistema del pedregal rodeados por la ciudad han estado aisladas desde hace más de 40 años, y han tenido que adaptarse a las condiciones derivadas de la alteración de su hábitat, incluyendo la presencia de mamíferos introducidos, como la rata noruega (*Rattus norvegicus*), el ratón doméstico (*Mus musculus*) y la ardilla gris (*Sciurus aureogaster nigrescens*). En los remanentes de pedregal también existen gatos (*Felis silvestres*) y perros (*Canis lupus familiaris*; Hortelano-Moncada *et al.*, 2009), a los cuales generalmente se les denomina ferales. La palabra "feral" hace referencia a los animales domésticos que han formado poblaciones en el medio silvestre, sin alimento ni refugio proporcionado por los seres humanos, distinguidos de los animales domésticos y callejeros por evitar todo contacto humano (Galetti y Sazima, 2006; Hughes y McDonald, 2013).

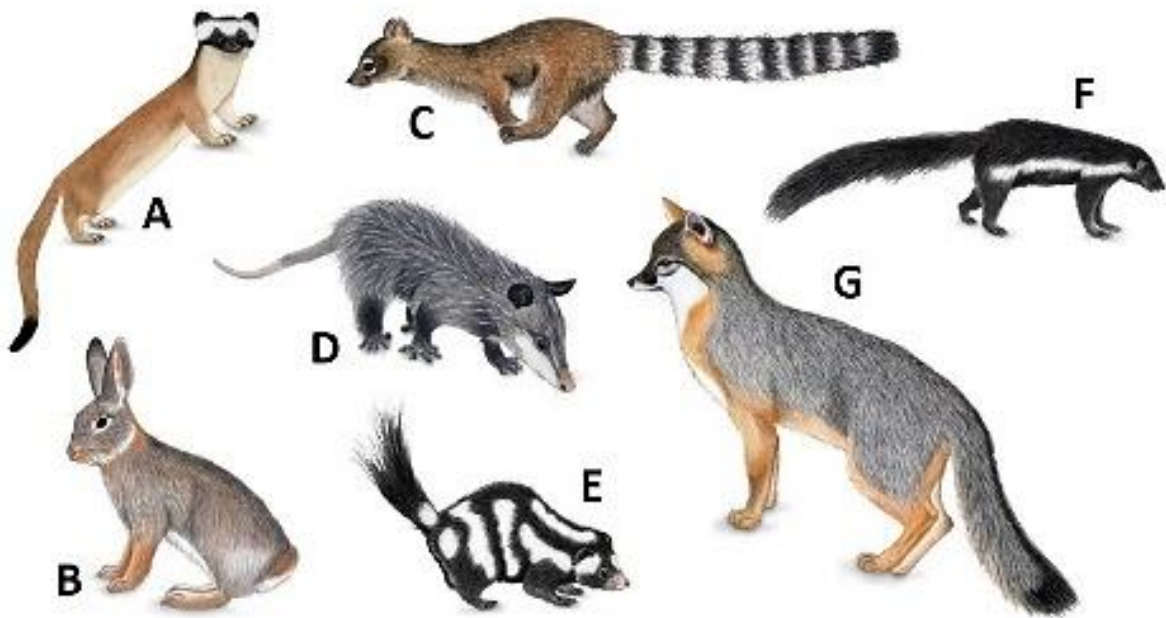


Figura 2. Mamíferos medianos nativos del ecosistema del Pedregal de San Ángel. A. comadreja (*Mustela frenata*), B. conejo castellano (*Sylvilagus floridanus*), C. cacomixtle (*Bassariscus astutus*), D. tlacuache (*Didelphis virginiana*), E. zorrillo moteado (*Spilogale putorius angustifrons*), F. zorrillo encapuchado (*Mephitis macroura*), G. zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*; Imágenes tomadas de Aranda, 2012).

---

Los perros y gatos ferales tienen un impacto negativo en el bienestar y supervivencia de la fauna nativa del pedregal, pues les transmiten enfermedades, ocasionan cambios en su conducta, la desplazan, marginan y reducen sus poblaciones (Lot *et al.*, 2012). Además, tanto perros como gatos podrían estar compitiendo con los mamíferos medianos nativos, o depredándolos. Incluso se ha especulado que la presencia de estas especies podría haber favorecido que la población de zorra gris (*U. cinereoargenteus*) haya sido prácticamente extirpada de la REPSA. Sin embargo, el efecto de estas especies introducidas no ha sido suficientemente estudiado (Cruz-Reyes, 2009; Ramos-Rendón, 2010).

El mejor entendimiento de las relaciones tróficas de los mamíferos nativos e introducidos del Pedregal de San Ángel, además de mejorar el conocimiento sobre el uso de recursos por parte de estas especies, permitirá esclarecer las interacciones interespecíficas entre especies nativas y exóticas. Esta información servirá para interpretar el escenario ante la desaparición o reinserción de cierta especie, así como fundamentar medidas de manejo que beneficien a las especies nativas y al ecosistema en general. Lo anterior cobra relevancia al considerar que el efecto que tienen las especies exóticas invasoras es más severo en áreas confinadas, como las reservas inmersas en la ciudad, donde las especies nativas son vulnerables a la exclusión competitiva y a la extinción local, debido a su reducido tamaño poblacional (Strauss *et al.*, 2006 en Ramírez-Cruz *et al.*, 2017).

---

## 2. OBJETIVO

Describir la estructura trófica de los mamíferos medianos nativos y exóticos de dos reservas que resguardan el ecosistema original del Pedregal de San Ángel: la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) y el Bosque de Tlalpan (BT).

Objetivos particulares:

- Establecer la importancia relativa del tipo de vegetación en la base de las cadenas tróficas para cada especie de mamífero mediano.
- Comparar el nicho trófico de los mamíferos nativos y exóticos, y examinar la superposición de nicho entre especies.
- Comparar el nicho trófico de los organismos capturados en diferentes temporadas y en diferentes reservas del Pedregal.

---

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1. Estudios previos sobre los mamíferos medianos del Pedregal de San Ángel

El Bosque de Tlalpan (BT) es una de las áreas inmersas en la zona de pedregal. En el 2012, se iniciaron estudios de inventario y monitoreo de la fauna silvestre del BT en coordinación con la administración de la REPSA. Mediante foto-trampas se encontró la presencia de zorra gris (*U. cinereoargenteus*), tlacuache (*D. virginiana*), cacomixtle (*B. astutus*), zorrillo encapuchado (*M. macroura*), ratón ciervo (*Peromyscus maniculatus*) y conejo castellano (*S. floridanus*; Hortelano-Moncada *et al.*, 2016). Sin embargo, no se cuenta con antecedentes sobre su estado poblacional, sus interacciones o sus hábitos alimentarios en la zona.

Por su parte, en la REPSA se han realizado varios trabajos sobre los mamíferos medianos, incluyendo estimaciones de sus densidades poblacionales. En un estudio reciente, se estimó la densidad poblacional del conejo castellano en 8.8 ind/ha (*S. floridanus*; Glebsky, 2016), con lo cual sería el mamífero mediano más abundante en la reserva. De acuerdo con Ramos-Rendón (2010), el tlacuache (*D. virginiana*) es otro de los mamíferos con mayor densidad poblacional, con 0.59-0.94 ind/ha, seguido del cacomixtle (*B. astutus*) con 0.13-0.173 ind/ha (Ramos-Rendón, 2010). En la REPSA el zorrillo moteado (*S. putorius*) es el mamífero mediano con la menor densidad reportada, con 0.16-0.07 ind/ha (Ramos-Rendón, 2010), pero la zorra gris (*U. cinereoargenteus*) tiene mayor riesgo de desaparecer a corto plazo: esta especie fue considerada extirpada de la REPSA desde el 2004 (Hortelano-Moncada *et al.*, 2009), hasta que en el 2017 se logró fotografiar un individuo en una de las zonas núcleo (López, 2017). Por último, desde 1977 no se ha tenido ningún registro de comadreja (*M. frenata*) ni de zorrillos listados (*M. macroura*) en la reserva (Hortelano-Moncada *et al.*, 2009).



---

La conservación de la fauna silvestre de la REPSA y del BT enfrenta problemas severos a debido a los perros y gatos que viven, ingresan o son introducidos a estas áreas (GODF, 2011; Zambrano *et al.*, 2016). Ante esto, la REPSA posee un programa para la restauración de las poblaciones de vida silvestre, mediante la erradicación de perros y gatos ferales (Zambrano *et al.*, 2016). También existe un proyecto enfocado al restablecimiento de una población viable de zorra gris (*U. cinereoargenteus*). En conjunto, dichas medidas buscan reestructurar la dinámica trófica original de la vida silvestre local (Kagata y Ohgushi, 2006 en Zambrano *et al.*, 2019). No obstante, para que esto sea posible, además del monitoreo constante del estado poblacional de las especies, se requiere conocer y monitorear sus interacciones, así como los recursos alimenticios que utilizan.

En la REPSA, hay tres trabajos que se enfocan al estudio de la depredación de fauna silvestre por parte de los gatos. Estos trabajos se realizaron mediante el análisis de contenido estomacal (Ramos-Rendón, 2010; Landeta-Solis, 2019) y excretas (Granados, 2008; Ramos-Rendón, 2010; Landeta-Solis, 2019). Los resultados de estos estudios indican que el grupo más consumido por los gatos son los mamíferos (37%; Granados, 2008; 33% Ramos-Rendón, 2010; 25% Landeta-Solis, 2019). Entre las especies consumidas están el tlacuache (*D. virginiana*), el cacomixtle (*B. astutus*), el zorrillo moteado (*S. putorius*), el conejo castellano (*S. floridanus*), la rata noruega (*R. norvegicus*), el ratón doméstico (*M. musculus*), el ratón piñonero (*Peromyscus gratus*), la musaraña (*Sorex saussurei*), la rata de monte (*Neotoma mexicana*) y el ratón de meseta (*Peromyscus melanophrys*; Landeta-Solis, 2019). Otros alimentos encontrados fueron insectos, reptiles (Granados, 2008; Ramos-Rendón, 2010; Landeta-Solis, 2019) y aves (Ramos-Rendón, 2010). Estos trabajos concluyen que la dieta de los gatos en la reserva en su gran mayoría está compuesta por fauna local (Granados, 2008; Ramos-Rendón, 2010; Landeta-Solis, 2019).

---

En cuanto a los perros de la REPSA, existe un trabajo realizado mediante el análisis de contenido estomacal donde se menciona que depredan sobre la fauna nativa, y que podrían estar ocupando los nichos ecológicos de las especies nativas (Ramírez-Velázquez, 2017). Este trabajo señala la necesidad de desarrollar estudios sobre el comportamiento alimentario de los perros para evaluar su actividad predatoria y medir el nivel exacto de daño asociado.

### 3.2. Análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno

El análisis de contenido intestinal, o de excretas, proporciona información limitada sobre la dieta real (Bearhop *et al.*, 1999) y puede representar una subestimación significativa de los tipos de presa específicos, ya que está afectada por el tamaño y la digestibilidad de los elementos de presas (Roth y Hobson, 2000; Milakovic y Parker, 2011). Además, estos métodos solo proporcionan datos sobre la selección de recursos durante el período de estudio o inmediatamente antes del análisis y, por lo general, son difíciles de cuantificar de una manera verdaderamente objetiva.

Alternativamente, el análisis de isótopos estables (AIE) de carbono y nitrógeno se ha utilizado como una herramienta eficaz para determinar el uso de recursos alimenticios de especies silvestres y proporcionar información sobre las presas que son asimiladas por el organismo, y no solo las que son ingeridas (Hobson *et al.*, 1996; Herrera *et al.*, 2001). Al conocer la composición de isótopos estables de carbono y nitrógeno en los tejidos de presas potenciales, se puede inferir la alimentación de las especies depredadoras, con base en la composición isotópica de sus tejidos. Además, esta información permite inferir los principales hábitats donde se alimentan las presas (Crawford *et al.*, 2008; Wurster *et al.*, 2012).

En ecosistemas terrestres, el análisis de isótopos estables ha servido para determinar la influencia de las especies exóticas en las comunidades de especies nativas con base en los flujos de materia

---

dados a través de la estructura trófica (Nájera, 2015). Como ejemplo, Caut y colaboradores (2006), con ayuda del AIE, obtuvo un índice de interacción interespecífica para describir la dinámica de la comunidad en las islas del Canal de California (E.U.), incluyendo zorras grises, zorrillos, águilas y cerdos ferales introducidos.

Esta técnica también ha permitido describir la diferenciación de nicho trófico entre mamíferos nativos, como en el estudio de Warsen y colaboradores (2014), centrado en cuatro carnívoros: lince (*Lynx rufus*), coyote (*Canis latrans*), zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) y zorro rojo (*Vulpes vulpes*) en Adirondack Park, Nueva York, o el estudio de Galetti y colaboradores (2016), quienes investigaron el reparto potencial de recursos entre roedores y marsupiales del Bosque Atlántico de Brasil. En un estudio más reciente, el análisis de isótopos estables ayudó a determinar el efecto de los dingos (*Canis lupus dingo*), especie exótica invasora, sobre los vertebrados nativos de las zonas de selvas húmedas de Australia (Marrant *et al.*, 2017).

---

## 4. MÉTODOS

### 4.1. Sitio de estudio

Este trabajo se realizó al sur de la Ciudad de México, en la zona del pedregal de San Ángel, en remanentes del ecosistema original de matorral xerófilo (Rzedowski, 1954), conformado principalmente por: palo loco (*Pittocaulon praecox*), tepozán (*Buddleia cordata*), tepozancillo (*Buddleia parviflora*), chapulixtle (*Dodonea viscosa*), *Agave* sp., oreja de burro (*Echeveria gibbiflora*), *Sedum oxypetalum*, *Opuntia tomentosa*, *Opuntia robusta*, *Senna* sp. y *Eysenhardtia polystachya* (GODF, 2011). El trabajo de campo se realizó en dos sitios con vegetación conservada, los cuales se encuentran completamente rodeados por la matriz urbana: la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) y el Bosque de Tlalpan (BT). El clima de la zona es templado subhúmedo con lluvias en verano (Cb w1 w), tiene una temperatura media anual de 15.5°C (Valiente-Banuet y De Luna, 1990), con oscilación anual en las temperaturas medias mensuales de entre 5 y 7°C (PAOT, 2009). La precipitación total anual varía de 850 a 911 mm. En el pedregal hay una marcada estacionalidad determinada por la variación anual de temperatura y precipitación. El año se divide en una temporada lluviosa (de junio a octubre) y otra seca (de noviembre a mayo; Rzedowski, 1954).

#### 4.4.1. REPSA

La REPSA está ubicada dentro del campus principal de la Universidad Nacional Autónoma de México, en la Delegación Coyoacán, entre las coordenadas geográficas 19° 18' 31" y 19° 19' 17" de latitud norte y -99° 10' 20" y -99° 11' 52" de longitud oeste. La REPSA se encuentra en la zona norte del Pedregal de San Ángel y presenta una altitud de 2,200 a 2,277 msnm. Esta reserva fue creada en 1983, cuando académicos y estudiantes de la UNAM se movilizaron para proteger el ecosistema del pedregal y las autoridades universitarias establecieron un área protegida de 124 ha dentro del campus

---

principal de la universidad (Álvarez *et al.*, 1982). Durante las últimas tres décadas, la Reserva se ha ampliado y ahora ocupa un área total de 237.3 ha, de las cuales 171.1 ha fungen como zonas núcleo y 66.2 ha como un conjunto de 13 áreas de amortiguamiento (REPSA, 2006). Las áreas de amortiguamiento se agregaron para servir como corredores de conectividad intercalados entre las áreas centrales y urbanas (Zambrano *et al.*, 2016; Fig. 3), de manera que la REPSA tiene el aspecto de un conjunto de islas de vegetación en medio de la infraestructura de una universidad que sigue en crecimiento y de una ciudad que concentra una población en aumento (Ramos-Rendón, 2010).

Las áreas núcleo de la REPSA poseen parches de matorrales originales con perturbaciones mínimas inducidas por el hombre y acceso restringido a las personas. Estas áreas centrales se establecieron con fines de conservación. Por otro lado, las áreas de amortiguamiento se componen de matorral original y vegetación exótica introducida durante los primeros intentos de reforestación en el campus alrededor de 1950 (Estañol-Tecuatl y Cano-Santana, 2017). En estas áreas, el acceso de las personas solo está parcialmente restringido y, por lo tanto, algunas de ellas presentan disturbios derivados de las actividades humanas.

#### 4.4.2. Bosque de Tlalpan

El Bosque de Tlalpan (BT) se encuentra en la delegación Tlalpan, entre las coordenadas geográficas extremas: 19° 17' 30" y 19° 18' 00" de latitud norte, y 99° 11' 30" y 99° 12' y 25" de longitud oeste. El BT se ubica en el denominado "lóbulo" sur del Pedregal de San Ángel, y presenta un intervalo altitudinal de los 2,310 a 2,448 msnm (INEGI, 1999). El BT contaba originalmente con 252.8 ha, pero actualmente posee sólo 233 ha debido a la presión que han ejercido las colonias Fraccionamiento Condominio del Bosque, Jardines del Ajusco, Ampliación Miguel Hidalgo y Villa Charra del Pedregal (PAOT, 2009).

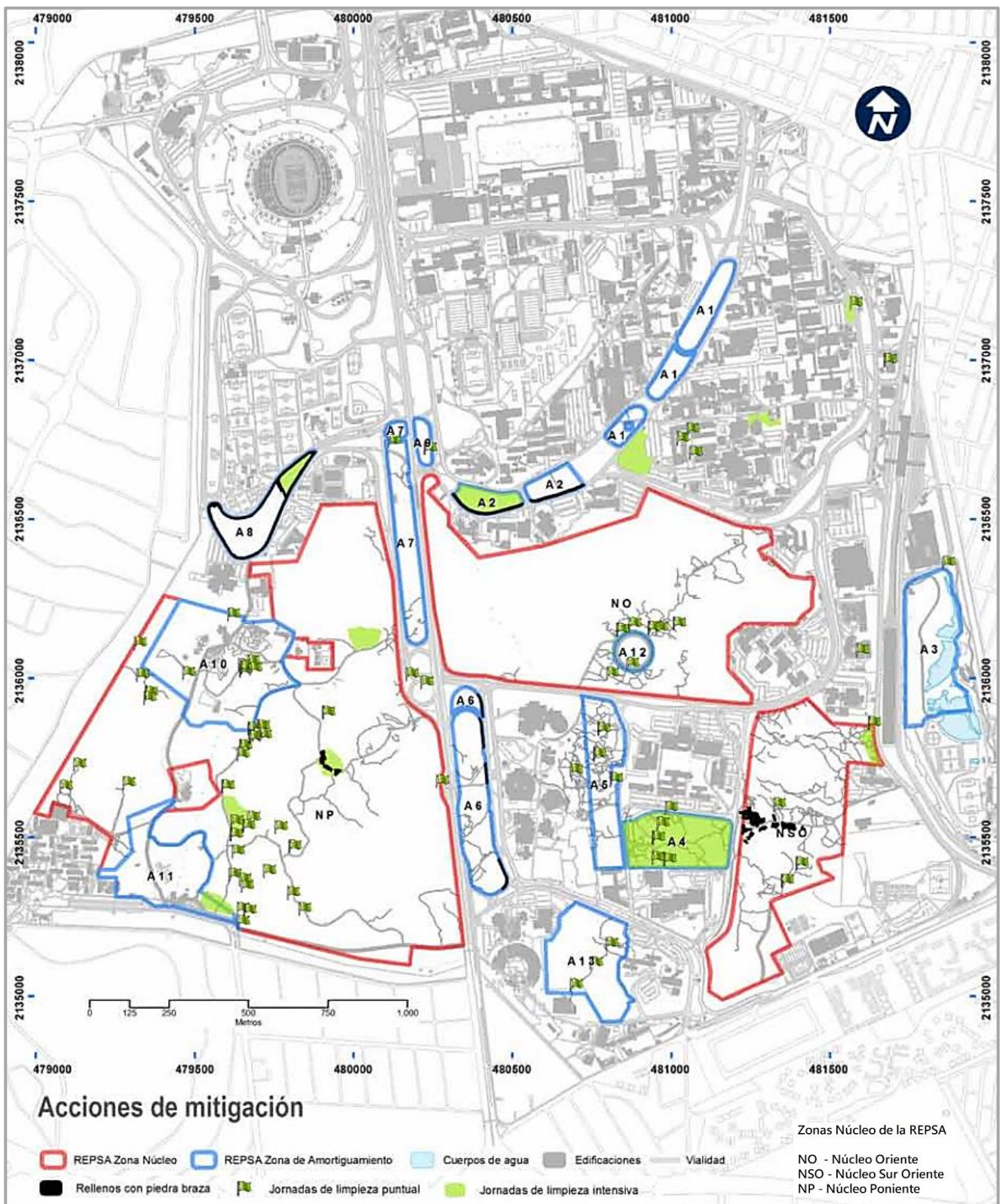


Figura 3. Polígonos de la REPSA, dentro de Ciudad Universitaria (Imagen tomada de Zambrano *et al.*, 2016).

---

En un principio, los terrenos en los que se localiza el Bosque pertenecieron a la empresa “Fábricas de Papel Loreto y Peña Pobre S.A.”, mismos que fueron adquiridos por el Gobierno del Distrito Federal en 1968 para establecer un parque-zoológico, el cual funcionó como tal hasta 1988. Posteriormente, se consideró un Parque Urbano, y en 2011 se declaró Área Natural Protegida (ANP) de jurisdicción local, bajo la categoría de Zona Ecológica y Cultural (GODF, 2011). Actualmente, el BT es una de las pocas áreas que cuenta con un administrador permanente, así como con infraestructura para la operación y resguardo del lugar. Además, cuenta con su propio programa de manejo para definir acciones de protección, restauración y conservación del área. Todo esto ha servido para destinar parte de los recursos que aportan los usuarios a implementar medidas de vigilancia para la conservación del ecosistema y su fauna silvestre (Hortelano-Moncada *et al.*, 2016).

El área que comprende el BT se encuentra cubierta por tres tipos principales de vegetación que, de acuerdo con su fisonomía, composición florística y origen, se han denominado como: bosque de *Quercus*, matorral de palo loco y bosques cultivados (Fig. 4). Entre las especies que forman el Bosque de encino se encuentran: *Quercus rugosa*, *Q. mexicana*, *Q. crassipes*, *Q. laurina*, *Q. castanea*, *Q. laeta*, y *Q. obtusata* o se encuentra asociado a especies del género *Pinus* (*Quercus-Pinus*). El bosque cultivado se trata de sitios reforestados constituidos principalmente por: *Eucalyptus* sp., *Pinus* sp., *Cupressus* sp., *Acacia retinodes*, *Acacia longifolia*, *Ligustrum lucidum*, *Acer negundo*, *Fraxinus udhei*, *Morus celtidifolia*, *Prunus serotina* y *Crataegus pubescens*, aunque recientemente se han realizado plantaciones con *Q. rugosa* y *Q. laurina* (GODF, 2011).

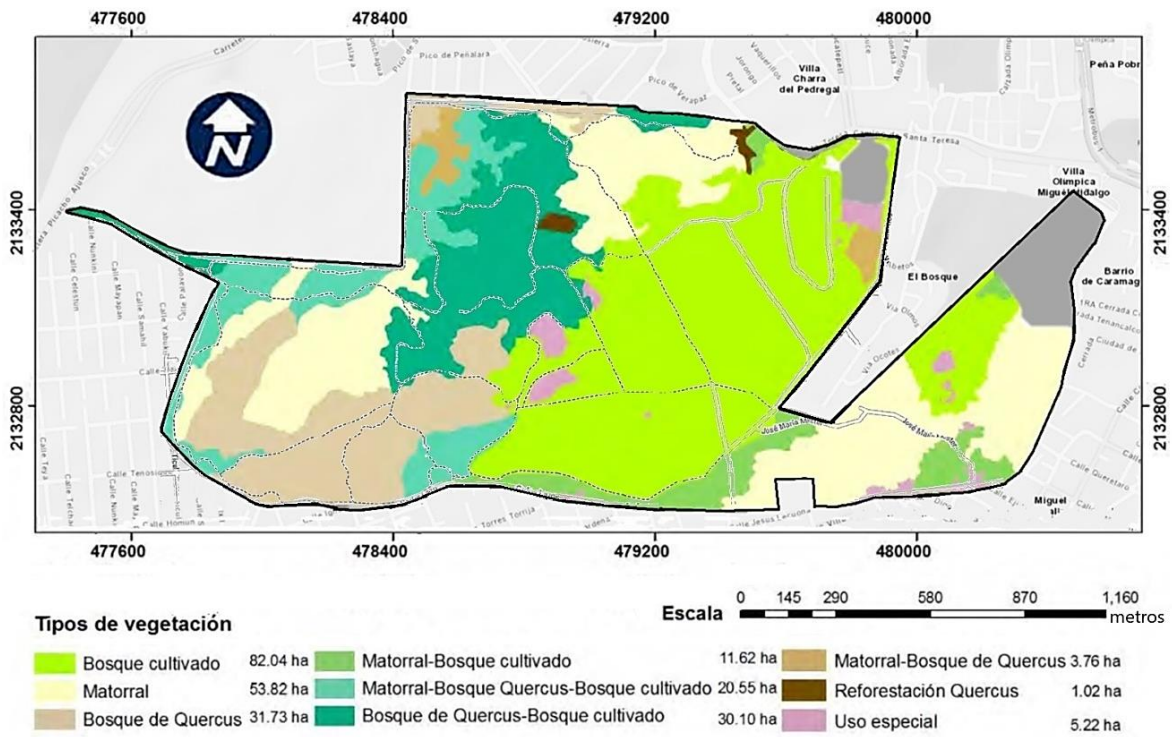


Figura 4. Polígono del BT y sus diferentes tipos de vegetación (Imagen modificada, elaborada por Martínez-Martínez Santa Teresa, tomada de Chávez-García, 2016).

## 4.2. Trabajo de campo

### 4.2.1. Muestreo de mamíferos medianos

En 2018 se realizó un muestreo de mamíferos medianos utilizando trampas Tomahawk. El muestreo abarcó 3 periodos de capturas en la REPSA (del 25 al 28 de febrero de 2018, del 11 al 29 de junio de 2018 y del 3 al 25 de agosto de 2018) y 2 periodos en el Bosque de Tlalpan (del 21 al 27 de abril de 2018 y del 3 al 13 de septiembre de 2018). Por cada periodo se colocaron de 8 a 10 trampas Tomahawk y se activaron entre cuatro y nueve noches. Las trampas fueron cebadas diariamente con una mezcla de alimentos dulces (mermelada, fruta, pan, vainilla) y alimentos de olor fuerte (pollo, carne, sardinas, alimento para gato), de manera que por las tardes (entre las 4:00 pm y 7:00 pm) se añadía cebo fresco y, en las trampas sin éxito de captura, se eliminaba el cebo anterior. Dentro del BT se establecieron 15 puntos de colecta que tuvieran una vegetación conservada de matorral, alejada de construcciones y



caminos transitados. Por otro lado, en la REPSA se utilizaron los 37 puntos de colecta establecidos por Ramos-Rendón (2010), dentro de la Zona Núcleo Poniente (ZNP) y la Zona Núcleo Oriente (ZNO). Dichos puntos se encuentran distribuidos cada 200 metros conformando una retícula (Fig. 5).



Figura 5. A la izquierda: Puntos de muestreo en la REPSA: estos se utilizaron en los monitoreos periódicos de mamíferos medianos (imagen tomada de Ramos-Rendón, 2010). A la derecha: puntos establecidos para los muestreos en la zona con vegetación de matorral mejor conservada del Bosque de Tlalpan.

El manejo de los animales capturados se realizó por las mañanas y fue asistido por un médico veterinario especializado en fauna silvestre. Durante el manejo de los gatos y cacomixtles se realizó un procedimiento de contención química con una combinación de clorhidrato de ketamina (un anestésico disociado) y clorhidrato de xilacina (un sedante y relajante), para reducir el estrés de la manipulación. De cada animal capturado se registraron las medidas morfométricas convencionales, se determinó su estado reproductivo, peso, edad y sexo. Se obtuvo una muestra de 0.2 a 0.5 ml de sangre mediante una punción en la vena yugular (en gatos y cacomixtles) o en la vena coccígea en el caso de los tlacuaches. Cada muestra de sangre fue almacenada en un microtubo plástico con 1 ml de etanol al 70%. También se tomó una muestra de pelo de guarda de la cola (o de la región lumbar en el caso de los tlacuaches) en una bolsa de plástico.

---

En los vertebrados, las tasas metabólicas de los diferentes tejidos determinan las tasas de recambio de los elementos químicos (Tieszen y Boutton, 1989) como el  $^{13}\text{C}$  y el  $^{15}\text{N}$ . Las células sanguíneas de mamíferos muestran una rotación relativamente rápida. Por ejemplo, en pequeños roedores el recambio sanguíneo de  $^{13}\text{C}$  tiene una vida media de aproximadamente 17-25 días y al recambio de  $^{15}\text{N}$  de alrededor de 15.4-27.8 días (MacAvoy *et al.*, 2005; 2006; Miller *et al.*, 2008). Mientras que en mamíferos medianos el recambio sanguíneo de  $^{13}\text{C}$  y de  $^{15}\text{N}$  es de aproximadamente 43 y 40 días respectivamente (Lecomte *et al.*, 2011). Así, una muestra de sangre de mamífero ofrece información de la dieta de aproximadamente un mes anterior a la toma de la muestra.

Por otro lado, los tejidos inertes como el pelo, indica los recursos incorporados durante el intervalo de tiempo en el que se formó ese tejido (Hobson, 2008) y, por consiguiente, ofrece información de la dieta de meses o años anteriores al momento de su colecta (Bearhop *et al.*, 2002; Bearhop *et al.*, 2003; Roth y Hobson, 2003). Considerando lo anterior, en este estudio se tomaron muestras de sangre y pelo por cada individuo a fin de obtener la información dietética individual de diferentes periodos de tiempo, aprovechando mejor cada captura lograda.

Los animales fueron liberados en el mismo sitio de captura una vez transcurrido el tiempo de recuperación. De acuerdo con el protocolo de la REPSA, los animales ferales fueron sacrificados y en el BT fueron entregados al personal administrativo. En la REPSA, cada animal nativo capturado fue marcado con un microchip, mientras que en el BT se marcaron con pintura para ganado, para evitar obtener muestras de recapturas. Para incrementar el número de muestra de los mamíferos medianos, se obtuvo pelo de ejemplares colectados en la REPSA resguardados por la Colección Nacional de Mamíferos y del Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

---

#### *4.2.2. Obtención de muestras de alimentos naturales de los mamíferos medianos*

Durante el periodo de muestreo de mamíferos medianos, se obtuvieron muestras de reptiles, hojas, frutos, pequeños mamíferos y artrópodos reportados como fuentes de alimento naturales de las especies de interés. Para capturar roedores, en cada sitio se realizaron dos muestreos con 20 trampas Sherman distribuidas con una separación de aproximadamente 10 m entre sí. Las trampas Sherman se dejaron activadas únicamente dos noches y fueron revisadas muy temprano cada mañana. De cada roedor se tomó una muestra de pelo de guarda de la parte dorsal de su cuerpo, y luego fue liberado en el mismo sitio de captura.

Los artrópodos fueron capturados de la vegetación de forma oportunista durante el día, y se utilizaron trampas pitfall para las capturas por la noche. En cada sitio de muestreo se seleccionaron cuatro puntos de muestreo para colocar las trampas y se dejaron durante cinco noches. Los organismos capturados se preservaron en frascos viales de vidrio con alcohol al 70% en refrigeración para su determinación taxonómica. También se colectaron algunas muestras de pelo de conejo, plumas de aves, y plantas (frutos y hojas) presentes en los puntos de muestreo. Estas muestras se transportaron en bolsas de plástico al laboratorio.

Para tener valores isotópicos de referencia, se obtuvieron siete muestras de pelo de estudiantes de Ciudad Universitaria de edad y sexo conocidos para comparar la firma isotópica estable de humanos dentro del área de estudio con los valores de los mamíferos medianos. Además, se obtuvieron algunas muestras de comida de origen antrópico en la Universidad.

---

### 4.3. Análisis de isótopos estables

#### 4.3.1. Procesamiento de las muestras

Las muestras de sangre se mantuvieron congeladas en el laboratorio, mientras que las muestras de pelo se almacenaron a temperatura ambiente. A las muestras de pelo se les cortó la raíz y a las plumas se les retiró el raquis. Ambas, pelo y plumas, fueron lavadas con agua para eliminar posibles contaminantes. Para aislar la queratina del pelo, estos se lavaron con una solución de Metanol:Cloroformo [2:1] durante una hora, y un segundo lavado cambiando la solución por una nueva. Se realizaron dos lavados más con agua destilada durante 20 minutos (Gestal-Freire, 2016). Las muestras de plantas se lavaron con agua destilada.

Todas las muestras obtenidas (pelo, plumas, sangre, plantas y artrópodos) fueron secadas en una estufa de 45 a 55 °C durante 48 horas. Una vez secas, se homogenizaron pulverizándolas a mano en un mortero de porcelana y, en el caso de las muestras de pelo y plumas, utilizando tijeras quirúrgicas. El polvo obtenido de cada muestra se pesó para ser encapsulado individualmente en tubos de plástico. Por último, cada muestra fue almacenada individualmente en una cápsula de estaño (Sn; de 0.8-1.2 mg de cada muestra de sangre, músculo de artrópodos; 1 mg de cada muestra de pelo; 3-4.2 mg de cada muestra de semillas, frutos y hojas de plantas).

Las proporciones de isótopos estables de carbono y nitrógeno se midieron en un espectrómetro de masas de relación de isótopos de flujo continuo (Europa Scientific ANCA-HYDRA 20/20) en el Laboratorio de Isótopos de la Universidad de Davis, California. Las proporciones de  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  o  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  en los tejidos de las muestras se expresaron mediante el valor del incremento en la desviación isotópica ( $\delta$ ) en partes por mil (‰), ya que este resulta un valor más fácil de manejar. La “ $\delta$ ” indica cuánto difiere la relación isotópica ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  o  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) de la muestra respecto del valor estándar

---

internacional: PDB (belemnita de la formación Pee Dee de Carolina del Sur) para el análisis isotópico del carbono y nitrógeno atmosférico para el de nitrógeno (Fry, 2006). El valor del incremento en la desviación isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$  o  $\delta^{15}\text{N}$ ) se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\delta X = \left[ \left( \frac{R_x}{R_{std}} \right) - 1 \right] \times 1000$$

$\delta$	Desviación isotópica en partes por mil (‰)
X	Isótopo correspondiente ( $^{15}\text{N}$ o $^{13}\text{C}$ )
Rx	Relación isotópica (pesado/ ligero) en la muestra
Rstd	Relación isotópica del estándar internacional

Una muestra con valores de  $\delta$  positivos estará enriquecida en el isótopo pesado, mientras que conforme los valores se hacen negativos la muestra presenta un empobrecimiento del isótopo pesado. Debido a que el patrón utilizado para el carbono está extraordinariamente enriquecido en el isótopo pesado, prácticamente todos los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de sustancias naturales presentan valores negativos (O'Leary, 1981).

#### 4.3.2. Fundamentos del análisis de isótopos estables

Los isótopos estables de nitrógeno y de carbono son utilizados para describir relaciones tróficas, flujos de energía y para seguir patrones de alimentación a diferentes escalas de tiempo (Vander-Zanden *et al.*, 1999; Layman *et al.*, 2007). Los átomos de carbono-12 ( $^{12}\text{C}$ ) y de nitrógeno-14 ( $^{14}\text{N}$ ) son los isótopos ligeros, mientras que el carbono-13 ( $^{13}\text{C}$ ) y el nitrógeno-15 ( $^{15}\text{N}$ ) son los isótopos pesados. Al ser consumidos por los organismos, se da un proceso de fraccionamiento, es decir, las abundancias relativas de los isótopos de estos elementos en los tejidos del organismo adoptan valores específicos durante los procesos metabólicos, pues la velocidad de reacción de los isótopos ligeros es mayor que la de los pesados. Así, los tejidos de los consumidores se van enriqueciendo con los isótopos pesados ( $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$ ) respecto a su alimento o presa (Wada y Minagawa, 1991; Martínez del Río *et al.*, 2009).

---

El valor del incremento en la desviación isotópica, o ratio de isótopos de carbono ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  o  $\delta^{13}\text{C}$ ) del tejido de un animal, refleja la fuente de nutrición autótrofa en la base de la red alimenticia (DeNiro y Epstein, 1978; DeNiro y Epstein, 1981; Fry, 2006). Las plantas con metabolismo  $\text{C}_4$ , o con metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), presentan mayor enriquecimiento de  $^{13}\text{C}$  que las plantas que emplean la vía metabólica  $\text{C}_3$  (Ambrose y DeNiro, 1986; Van der Merwe, 1989; Kelly, 2000). Esto permite que el valor de  $\delta^{13}\text{C}$  en tejidos de herbívoros revelen cual es el grupo fotosintético dominante en la vegetación de la cual se alimentan, mientras que, en los tejidos de los carnívoros, revela si éstos se han alimentado de herbívoros que consumen principalmente plantas  $\text{C}_3$  o  $\text{C}_4/\text{CAM}$  (Ambrose y DeNiro, 1986). A la par, este análisis puede proporcionar información sobre las características ambientales del hábitat del animal, debido a la estrecha relación entre los grupos fotosintéticos y los factores abióticos (Van der Merwe, 1989; Tieszen, 1991).

El ratio de isótopos de nitrógeno ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  o  $\delta^{15}\text{N}$ ) es usado para situar a los organismos en un nivel trófico de acuerdo con su alimentación (DeNiro y Epstein, 1981). Las proteínas consumidas por los animales son transformadas en aminoácidos, y sufren una desaminación antes de entrar al sistema de reciclaje metabólico. El nitrógeno derivado de este proceso metabólico está conformado principalmente por  $^{14}\text{N}$ , el cual es excretado en forma de amonio, ácido úrico o urea (Minagawa y Wada, 1984). Como resultado, en los tejidos animales el nitrógeno se va acumulando en su forma de isótopo pesado  $^{15}\text{N}$  principalmente, y por tanto los valores relativos de  $\delta^{15}\text{N}$  son mayores progresivamente a través de las redes tróficas (DeNiro y Epstein, 1981; Ambrose y DeNiro, 1986). Incluso entre animales omnívoros, que ocupan el mismo nivel trófico, es posible distinguir diferentes grados de carnivoría (Warsen *et al.*, 2014).

Mediante la información de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de los tejidos de una población o comunidad se puede representar el nicho trófico al graficar las firmas isotópicas de cada uno de los componentes del grupo

---

en un espacio bidimensional ( $\delta^{15}\text{N}$  en un eje **Y** y  $\delta^{13}\text{C}$  en un eje **X**) para trazar un polígono utilizando los valores de los componentes externos que encierren a todos los elementos del sistema. El polígono resultante se conoce como envoltura convexa, cuya área representa el espacio de nicho trófico ocupado por el grupo (Bearhop *et al.*, 2004; Layman *et al.*, 2007). Un inconveniente de la técnica de envoltura convexa es que el área de nicho es influenciada por el tamaño de la muestra y por los datos extremos. No obstante, esto puede solucionarse con un método complementario donde el nicho trófico se representa con el área de una elipse generada mediante simulaciones de Monte Carlo (Jackson *et al.*, 2011). El área de la elipse estándar (SEA, por sus siglas en inglés) engloba aquellos datos que se ubicarán dentro de un 95% de intervalo de confianza en las distribuciones de ambos isótopos estables (Jackson *et al.*, 2011).

El SEA representa el espacio de "nicho isotópico" (Newsome *et al.*, 2007), el cual incorpora información ecológica tanto bionómica (los recursos que utilizan los animales) como escenopoética (el escenario bioclimático en el que se desempeña una especie). Este "espacio" es comparable al espacio  $n$ -dimensional del nicho de Hutchinson (1978), ya que la composición química de un animal está directamente influenciada por lo que consume (bionómica) y el hábitat en el que vive (escenopoética; Newsome *et al.*, 2007). El nicho isotópico es una aproximación del nicho trófico, pues ayuda a determinar la posición trófica y el espectro de cada especie como consumidor dentro de las redes alimentarias (Chen *et al.*, 2010).

#### 4.4 Análisis de datos

Los análisis estadísticos fueron realizados con el programa R versión 3.5.2 (R Core Team, 2019). Antes de cada prueba estadística, se probó la normalidad de los datos por medio de pruebas de Shapiro-

---

Wilks. Se probó la homocedasticidad con pruebas de  $F$  y con la prueba de Brown-Forsyth, cuando los datos no fueron normales.

#### 4.4.1. Representación de la estructura trófica

Se determinó si había diferencias significativas en las firmas isotópicas del pelo entre los ejemplares de mamíferos medianos de diferentes sitios de colecta (REPSA vs BT) con una prueba de  $U$  de Mann-Witney por especie. Con esto se probó si se podían usar las muestras de individuos colectados en diferentes sitios en una misma representación de la estructura trófica. Se calculó el SEA de cada especie colectada con el paquete SIBER (Jackson *et al.*, 2011) para representar gráficamente la estructura trófica del ecosistema.

Para determinar las conexiones entre presas y consumidores, se consideraron *a priori* tres categorías de mamíferos: (1) mamíferos reportados como presa de los mamíferos medianos del pedregal (MP), conformado por los roedores y el conejo castellano (Castellanos, 2006; Granados, 2008; Ramos-Rendón, 2010; Landeta-Solis, 2019); mamíferos consumidores nativos (MCN), incluyendo al tlacuache, cacomixtle, zorrillos y zorra gris; y mamíferos consumidores introducidos (MCI), es decir, perros y gatos. Por cada categoría, se formaron grupos de alimentos que ocuparan el mismo espacio isotópico, y se probó que los valores isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  entre estos grupos fueran significativamente diferentes con pruebas de MANOVA y pruebas *post-hoc* de Wilcoxon. La contribución dietaria de los grupos de alimentos, para cada categoría de mamíferos, se calculó con el paquete MixSiar: 'Bayesian Mixing Models in R' (Moore y Semmens, 2008; Stock y Semmens, 2013) que se basa en modelos de mezcla con parsimonia Gaussiana con una mixtura, los cuales fueron expresados en valores promedios por cada individuo.



---

El factor de enriquecimiento ( $\Delta\text{‰}$ ), o TDF, es la diferencia entre el valor isotópico ( $\delta^{15}\text{N}$  o  $\delta^{13}\text{C}$ ) de un recurso alimenticio y el del consumidor que lo incorpora en su tejido (Fry, 2006). En el modelo de mezclas de este trabajo se consideraron valores de TDF por cada especie y tipo de tejido basados en la bibliografía (Anexo A). Además, en el modelo se utilizaron las firmas isotópicas corregidas de los humanos, es decir, se les restaron valores de TDF de 2.0 ‰ y 3.5 ‰ para  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  respectivamente, para obtener los valores representativos de la comida humana (Newsome *et al.*, 2015), y así usarlos para estimar el uso de alimento antropogénico por parte de los mamíferos.

#### 4.4.3. Análisis de nicho trófico

El análisis de nicho trófico se realizó para la REPSA y el BT por separado. Se calculó el SEA utilizando el paquete SIBER (Jackson *et al.*, 2011) para representar el espacio de nicho trófico de cada especie. Se utilizó la versión corregida del área de elipse estándar ( $\text{SEA}_c$ ; Jackson *et al.*, 2011) para controlar el tamaño de las muestras. Posteriormente, se calculó la superposición de nicho trófico entre cada par de especies, como un porcentaje (%) del  $\text{SEA}_c$  de cada especie utilizando la paquetería SIAR.

#### 4.4.4. Comparación de los nichos tróficos de los mamíferos capturados en diferentes temporadas y sitios

Para saber si existían diferencias entre los datos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de los mamíferos medianos capturados en diferentes temporadas y sitios, se utilizaron los valores isotópicos de la sangre, ya que este tejido refleja la dieta general asimilada a corto plazo. Por cada especie se realizó una prueba de ANOVA de dos factores, utilizando como factores el sitio y la temporada de captura. Por último, la variación individual dentro de una misma población se evaluó probando si había diferencias significativas entre los valores isotópicos del pelo y la sangre de cada individuo, mediante pruebas de  $U$  de Mann-Witney pareadas, por cada especie.

---

## 5. RESULTADOS

### 5. 1. Muestras obtenidas

Se obtuvieron muestras de 36 mamíferos medianos capturados con trampas Tomahawk y de tres individuos encontrados muertos. Estas muestras corresponden a 26 tlacuaches (*D. virginiana*), 10 cacomixtles (*B. astutus*) y tres gatos ferales (*F. catus*). Por cada organismo se obtuvo una muestra de pelo de guarda y, cuando fue posible, una muestra de sangre (Fig. 6). En el caso de algunos individuos se aislaron submuestras de pelo para obtener información de los alimentos asimilados en diferentes tiempos, es decir, conforme el pelo se fue formando.



Figura 6. Manejo de mamíferos medianos capturados en el BT: A. gato feral (*F. catus*) sedado, B. liberación de un tlacuache (*D. virginiana*) en el sitio de captura, C. cacomixtle (*B. astutus*) sedado para toma de muestras, D. obtención de muestra de sangre de un tlacuache (*D. virginiana*).

---

Debido a que no fue posible obtener muestras de algunas especies mediante los muestreos con trampas Tomahawk, se tomaron muestras de pelo de 15 mamíferos medianos (colectados en la REPSA) de la Colección Nacional de Mamíferos (CNMA): cuatro gatos ferales (*F. catus*), dos cacomixtles (*B. astutus*), un perro feral (*C. lupus familiaris*), tres zorrillos encapuchados (*M. macroura*) y cinco zorrillos moteados (*S. putorius angustifrons*). También se obtuvo una muestra de pelo de un ejemplar de zorra gris (*U. cinereoargenteus*) colectada en CU, del Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias. Por último, para este trabajo la Secretaría Ejecutiva de la REPSA (SEREPSA) proporcionó muestras de sangre de dos gatos ferales, de dos perros ferales y de un zorrillo moteado (*S. putorius angustifrons*). En el Anexo B se presentan los datos referentes al sexo y medidas de los 61 mamíferos medianos de los cuales se obtuvieron muestras para el análisis de isótopos estables.

Durante el periodo de muestreo de mamíferos medianos también se obtuvieron 69 muestras para ser usadas como referencia de los alimentos potenciales para estas especies en los puntos donde se colocaron las trampas. De estas muestras, 20 fueron tomadas de animales de la CNMA y cuatro fueron proporcionadas por la SEREPSA (ver Anexo C).

## 5.2. Representación de la estructura trófica

En total, se analizaron 156 muestras de tejidos de organismos de la zona del Pedregal de San Ángel. En el Anexo B se encuentran los valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de todos los mamíferos medianos analizados y el resumen de los datos en la Tabla 1. Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de los elementos de la dieta de los mamíferos medianos y de las muestras control se muestran en el Anexo C y el resumen de los datos en la Tabla 2.

**Tabla 1.** Resumen de los valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  y de  $\delta^{15}\text{N}$  de los diferentes tejidos de los mamíferos medianos del Pedregal de San Ángel. (\*) En algunos casos se midieron los valores en diferentes secciones del pelo de un mismo individuo, lo cual refleja la variación isotópica temporal de ese ejemplar.

Sitio	Especie (no. de individuos)	% $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) del pelo		% $\delta^{15}\text{N}$ (Aire) del pelo		% $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) de la sangre		% $\delta^{15}\text{N}$ (Aire) de la sangre	
		<i>n</i>	Media $\pm$ SD (rango)	Media $\pm$ SD (rango)	<i>n</i>	Media $\pm$ SD (rango)	Media $\pm$ SD (rango)	<i>n</i>	Media $\pm$ SD (rango)
REPSA	Tlacuache (14)	9	-20.913 $\pm$ 1.773 (-23.469 a -18.796)	7.87 $\pm$ 1.624 (5.134 a 9.715)	12	-19.413 $\pm$ 0.718 (-20.691 a -18.464)	7.519 $\pm$ 1.177 (5.339 a 9.665)		
	Cacomixtle (10)	11*	-17.460 $\pm$ 0.934 (-18.863 a -15.886)	7.131 $\pm$ 0.614 (5.916 a 8.11)	5	-18.795 $\pm$ 1.076 (-20.198 a -17.26)	6.363 $\pm$ 0.963 (5.299 a 7.918)		
	Gato (7)	4	-17.805 $\pm$ 1.416 (-19.045 a -15.769)	7.522 $\pm$ 0.695 (6.89 a 8.43)	3	-19.687 $\pm$ 1.486323 (-20.791 a -17.997)	6.742667 $\pm$ 1.29 (5.498 a 8.090)		
	Perro (3)	1	-16.393	7.526	2	-17.636 $\pm$ 0.172 (-17.758 a -17.514)	6.9165 $\pm$ 0.272 (6.724 a 7.109)		
	Zorrillo moteado (6)	5	-17.950 $\pm$ 1.494 (-19.845 a -16.007)	6.8454 $\pm$ 2.478 (4.520 a 10.972)	1	-17.238	4.643		
	Zorrillo encap. (3)	3	-17.567 $\pm$ 0.781 (-18.251 a -16.716)	6.548 $\pm$ 1.038 (5.808 a 7.736)	0	---	---		
	Conejo castellano (5)	5	-16.619 $\pm$ 1.7498 (-18.877 a -14.019)	4.2012 $\pm$ 0.837 (3.51 a 5.586)	0	---	---		
	Zorra gris (1)	3*	-20.840 $\pm$ 1.367 (-22.370 a -19.741)	6.885 $\pm$ 2.102 (5.287 a 9.266)	0	---	---		
BT	Tlacuache (14)	9	-19.843 $\pm$ 0.988 (-21.993 a -18.927)	6.515 $\pm$ 2.103 (1.662 a 8.817)	12	-20.596 $\pm$ 0.799 (-22.03 a -18.937)	6.350 $\pm$ 0.984 (4.640 a 8.060)		
	Cacomixtle (2)	4*	-19.301 $\pm$ 2.147 (-21.201 a -17.441)	7.330 $\pm$ 2.393 (5.151 a 9.548)	2	-18.989 $\pm$ 2.975 (-21.092 a -16.885)	7.030 $\pm$ 1.882 (5.699 a 8.360)		
	Gato (2)	4*	-17.715 $\pm$ 1.619 (-18.859 a -16.570)	6.132 $\pm$ 0.669 (5.658 a 6.605)	2	-20.795 $\pm$ 1.492 (-21.850 a -19.740)	5.591 $\pm$ 0.243 (5.419 a 5.763)		

PDB = formación Pee Dee de Carolina del Sur.

Considerando las firmas isotópicas de cada uno de los organismos en ambos sitios de colecta, la comunidad trófica del pedregal se encuentra circunscrita entre -27.9 y -13.8 ‰ de  $\delta^{13}\text{C}$ ; y entre -5.2 y 11.3 ‰ de  $\delta^{15}\text{N}$ . En este espacio, los mamíferos medianos nativos se encuentran entre un rango de -23.4 a -14 ‰ de  $\delta^{13}\text{C}$ , y de 1.6 a 10.9 ‰ de  $\delta^{15}\text{N}$ . Por otro lado, los gatos y los perros se encuentran en un rango de -21.8 a -15.7 ‰ de  $\delta^{13}\text{C}$ ; y de 5.4 a 8.4 ‰ de  $\delta^{15}\text{N}$ .

Se probó que los valores isotópicos de los tlacuaches tuvieran una distribución normal, pero como no todos los grupos tuvieron tal distribución, se realizaron pruebas de *U* de Mann Whitney. No hubo diferencias significativas entre los valores isotópicos del pelo de los tlacuaches capturados en REPSA

y en BT ( $\delta^{13}\text{C}$ :  $F_{[8,8]} = 3.2$ ,  $P = 0.1$ ,  $U = 28$ ,  $P = 0.2$ ;  $\delta^{15}\text{N}$ :  $F_{[8,8]} = 0.5$ ,  $P = 0.4$ ;  $U = 58$ ,  $P = 0.1$ ), lo cual refleja que la dieta en general no proviene de recursos muy diferentes en ambos sitios. Por tanto, se utilizaron los datos de los tlacuaches capturados en ambos sitios en el análisis de la estructura trófica. Como sólo obtuvimos dos individuos capturados de cacomixtles y gatos en el BT, se decidió combinar los datos de estos individuos con los animales capturados en la REPSA para el análisis de la estructura

**Tabla 2.** Firmas isotópicas de las muestras referencia y muestras control.

Categoría	Nombre común	Nombre científico	<i>n</i>	Tejido	‰ $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) Media $\pm$ SD (rango)	‰ $\delta^{15}\text{N}$ (Aire) Media $\pm$ SD (rango)	
REPSA	Mamíferos	Ratón piñonero	<i>Peromyscus gratus</i>	5	Pelo	-22.414 $\pm$ 0.517 (-22.848 a -21.562)	5.827 $\pm$ 1.907 (3.582 a 8.695)
		Ardilla gris	<i>Sciurus aureogaster</i>	5	Sangre/ Pelo	-23.334 $\pm$ 0.845 (-24.797 a -22.704)	6.124 $\pm$ 1.833 (4.190 a 8.915)
		Ardillón de roca	<i>Otospermophilus variegatus</i>	5	Pelo	-21.991 $\pm$ 2.073 (-24.779 a -19.619)	5.552 $\pm$ 1.906 (3.376 a 7.472)
		Rata de monte	<i>Neotoma mexicana</i>	5	Pelo	-23.188 $\pm$ 1.663 (-24.870 a -21.028)	4.183 $\pm$ 3.011 (1.780 a 7.727)
		Ratón doméstico	<i>Mus musculus</i>	2	Pelo	-19.487 $\pm$ 1.020 (-20.208 a -18.765)	7.159 $\pm$ 0.919 (6.509 a 7.808)
		Musaraña	<i>Sorex saussurei saussurei</i>	2	Pelo	-22.320 $\pm$ 1.044 (-23.058 a -21.582)	3.600 $\pm$ 0.038 (3.573 a 3.627)
	Reptiles	Lagartija de collar	<i>Sceloporus torquatus</i>	5	Músculo	-22.337 $\pm$ 0.737 (-22.998 a -21.075)	6.200 $\pm$ 1.795 (4.035 a 8.451)
		Serpiente de cascabel	<i>Crotalus molossus</i>	4	Ecdisis/ Sangre	-22.906 $\pm$ 0.935 (-23.942 a -21.670)	6.626 $\pm$ 1.219 (5.207 a 8.136)
	Aves			3	Plumas	-19.412 $\pm$ 4.263 (-24.062 a -15.689)	6.241 $\pm$ 1.590 (4.415 a 7.322)
	Artrópodos	Insectos terrestres		4	Artrópodo entero	-19.866 $\pm$ 5.868 (-26.644 a -14.312)	5.389 $\pm$ 1.877 (3.174 a 7.032)
Arañas			3	Artrópodo entero	-24.605 $\pm$ 0.606 (-25.305 a -24.244)	5.428 $\pm$ 0.826 (4.837 a 6.372)	
Plantas			7	Fruto/ Hojas	-19.629 $\pm$ 5.739 (-27.995 a -13.865)	0.415 $\pm$ 2.681 (-3.201 a 4.245)	
BT	Aves		3	Pluma	-19.787 $\pm$ 1.823 (-21.891 a -18.693)	7.372 $\pm$ 3.446 (4.995 a 11.324)	
	Artrópodos	Insectos terrestres	4	Artrópodo entero	-26.044 $\pm$ 1.210 (-27.752 a -25.054)	-0.137 $\pm$ 1.553 (-2.022 a 1.183)	
	Plantas		7	Fruto/ Hojas	-18.514 $\pm$ 4.738 (-25.870 a -14.229)	-2.655 $\pm$ 1.912 (-5.253 a -0.022)	
Estudiantes de CU			7	Pelo	-17.32 $\pm$ 0.679 (-18.648 a -16.573)	9.127 $\pm$ 0.253 (8.839 a 9.5)	
mento humar			3		-20.808 $\pm$ 7.491 (-25.167 a -12.158)	4.28 $\pm$ 1.202 (3.341 a 5.635)	

PDB = formación Pee Dee de Carolina del Sur.

trófica. Del resto de especies de mamíferos medianos, sólo se logró obtener datos de la REPSA. La estructura trófica del ecosistema del Pedregal de San Ángel se representa gráficamente en la Figura 7.

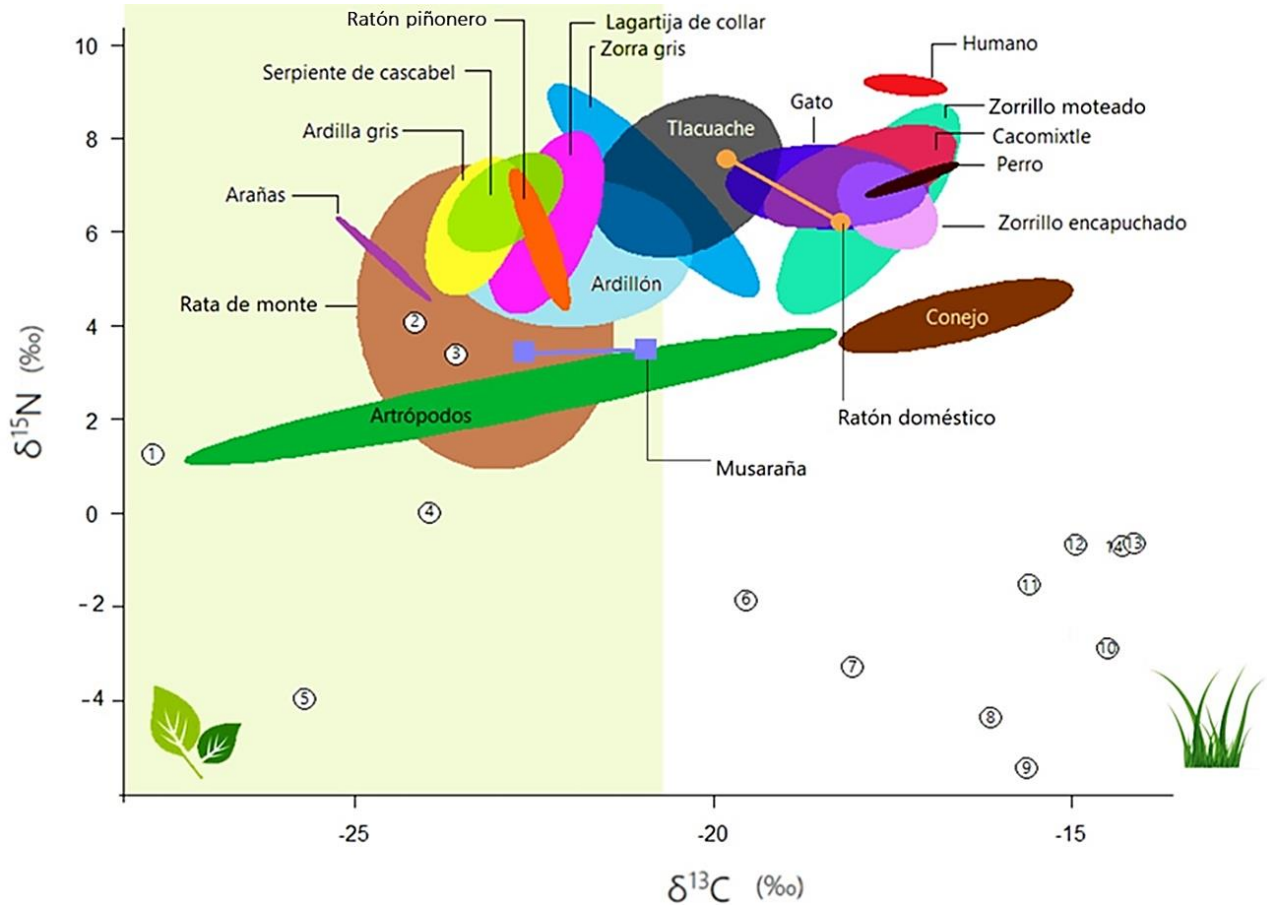


Figura 7. Estructura trófica general del Pedregal de San Ángel, representada por el nicho trófico de cada especie, o grupo de especies. Los nichos tróficos que se encuentran en la parte superior del esquema representan las especies que se encuentran en los niveles tróficos superiores. El área sombreada del lado izquierdo indica las especies que son dependientes de una fuente basal de plantas con metabolismo tipo  $C_3$  en la base de la cadena trófica. Mientras que las especies del lado derecho son aquellas que aprovechan tanto plantas de metabolismo  $C_3$ , como plantas de metabolismo  $C_4/CAM$ , de acuerdo con Boutton (1991) y Ehleringer (1991). Los números muestran la posición de diferentes tipos de plantas en la base de la estructura trófica: 1. tepozán (*Buddleja cordata*), 2. granadita (*Passiflora subpeltata*), 3. jaboncillo (*Phytolacca icosandra*), 4. *Dioscorea* sp., 5. encino (*Quercus* sp.), 6. manfreda, 7-8. oreja de burro (*Echeveria gibbiflora*), 9. maguey (*Agave* sp.), 10-11. pasto zacatón (*Muhlenbergia robusta*), 12-13. nopal (*Opuntia tomentosa*), 14. pasto rosado (*Rinchelitrum repens*). La gráfica se generó en R utilizando la paquetería SIBER (Jackson *et al.*, 2011) y se editó con el programa Paint para añadir color.

---

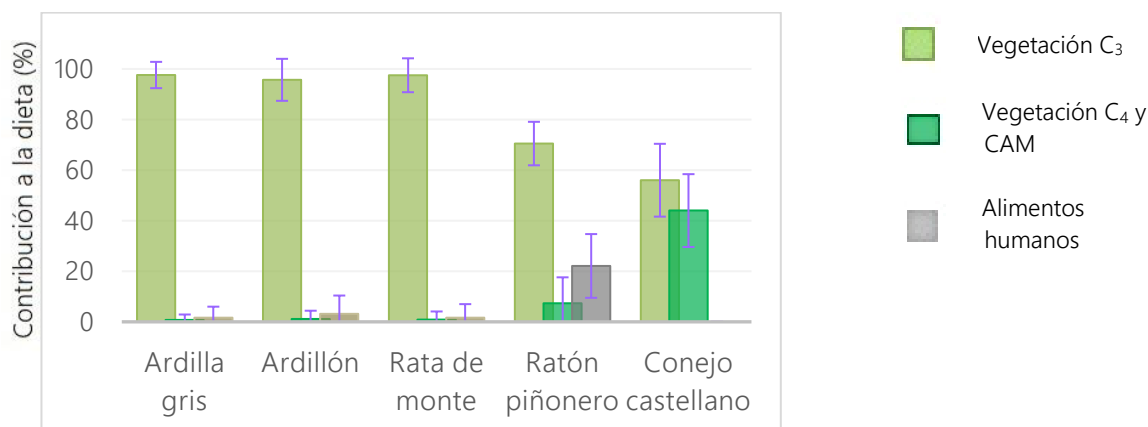
Los mamíferos medianos presentaron valores relativamente enriquecidos en  $\delta^{13}\text{C}$ , a diferencia de los roedores y la musaraña, que presentaron valores menos enriquecidos, por debajo de  $-18.76\text{‰}$ . Las muestras de artrópodos y aves tuvieron una gran variación en cuanto a sus valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ . Para las aves, los rangos de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  fueron de  $-24$  a  $-15.6\text{‰}$  y de  $4.4$  a  $11.3\text{‰}$ , respectivamente, mientras que para los artrópodos fueron de  $-27.7$  a  $-14.3\text{‰}$  de  $\delta^{13}\text{C}$ , y de  $-2$  a  $7\text{‰}$  de  $\delta^{15}\text{N}$ , siendo este último el grupo que presentó mayor variación en sus firmas isotópicas. Debido a que los valores isotópicos de las aves colectadas presentaron una enorme variación, se omitieron en la esquematización de la estructura trófica.

Los grupos de alimentos establecidos para los mamíferos presa (MP) fueron: (1) hojas y frutos de vegetación  $\text{C}_3$  y artrópodos que se alimentan en ella; (2) hojas y frutos de vegetación  $\text{C}_4/\text{CAM}$  y artrópodos que se alimentan en ella y (3) alimentos humanos. Las firmas isotópicas de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  entre estos grupos de alimentos presentaron diferencias significativas ( $F_{[4,48]}=37.49$ ,  $P<0.001$ , en el Anexo D-1 se presentan las pruebas *post hoc*). Para los mamíferos consumidores nativos (MCN) los grupos de alimentos establecidos fueron: (1) hojas y frutos de vegetación  $\text{C}_3$  y artrópodos que se alimentan en ella; (2) hojas y frutos de vegetación  $\text{C}_4/\text{CAM}$  y artrópodos que se alimentan en ella, incluyendo el conejo castellano; (3) alimentos de origen humano; y (4) roedores y lagartijas. Estos grupos de alimentos presentaron valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  estadísticamente diferentes ( $F_{[8,102]}=45.7$ ,  $P<0.001$ , en el Anexo D-2 se presentan las pruebas *post hoc*). Para el grupo de los mamíferos consumidores introducidos (MCI) los grupos de alimentos fueron: (1) conejos castellanos; (2) mamíferos medianos nativos, incluyendo tlacuaches y cacomixtles; (3) alimentos de origen humano y (4) roedores, lagartijas y artrópodos que se alimentan en vegetación  $\text{C}_3$ . Estos grupos presentaron diferencias en sus valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  ( $F_{[2,126]}=20.45$ ,  $P<0.001$ ; en el Anexo D-3 se presentan las pruebas *post hoc*).

El análisis de mezclas arrojó que, para la ardilla gris, el ardillón, la rata de monte y el ratón piñonero, la vegetación tipo C<sub>3</sub> posee mayor importancia en su dieta (casi del 100%; Tabla 3), en comparación con la vegetación C<sub>4</sub>. Por otro lado, la importancia de la vegetación C<sub>3</sub> en la dieta del conejo castellano fue de 56% y de 44% de la vegetación C<sub>4</sub> (Fig. 8).

**Tabla 3.** Contribución a la dieta de cada grupo de alimentos por cada especie de mamíferos presa.

Especie	Vegetación C <sub>3</sub> y los artrópodos que se alimentan en ella	Vegetación C <sub>4</sub> y CAM y los artrópodos que se alimentan en ella	Alimentos humanos
	Media ± Sd	Media ± Sd	Media ± Sd
Ardilla gris ( <i>S. aureogaster</i> )	97.6% ± 5.2	0.7% ± 2.2	1.6% ± 4.4
Ardillón de roca ( <i>O. variegatus</i> )	95.7% ± 8.3	1.2% ± 3.2	3.1% ± 7.3
Rata de monte ( <i>N. mexicana</i> )	97.5% ± 6.7	0.9% ± 3.2	1.6% ± 5.4
Ratón piñonero ( <i>P. gratus</i> )	70.5% ± 8.6	7.4% ± 10.2	22.1% ± 12.6
Conejo castellano ( <i>S. floridanus</i> )	56% ± 14.4	44% ± 14.4	



**Figura 8.** Contribución de diferentes alimentos a la dieta de mamíferos reportados como presas de los mamíferos medianos del Pedregal de San Ángel.

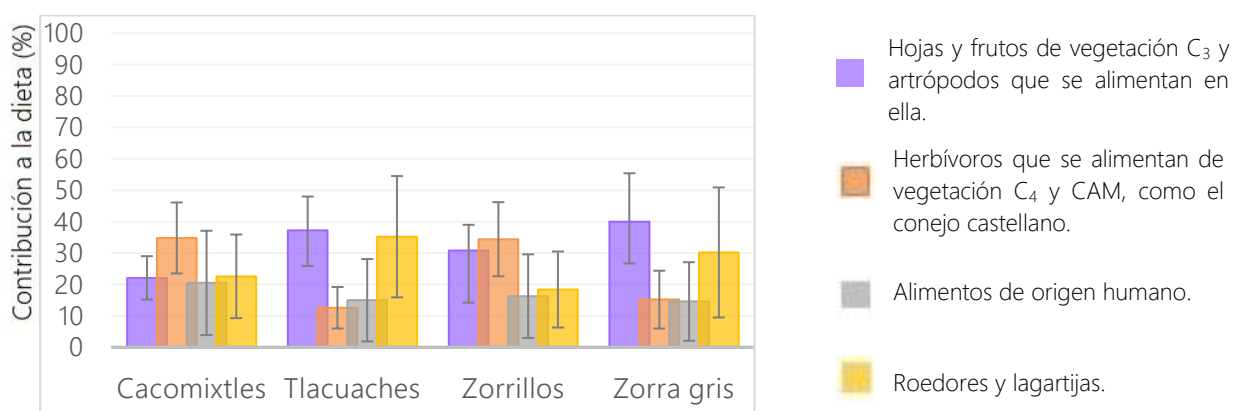
En el caso de los mamíferos consumidores nativos (MCN), las inferencias tróficas obtenidas a través del modelo de mezcla sugirieron que el grupo que aportó más en la dieta del cacomixtle y zorrillos podría ser el de los conejos, seguido de la vegetación C<sub>3</sub> y los artrópodos que se alimentan en ella. Por otro lado, el patrón obtenido para la zorra gris y para el tlacuache fue parecido, donde el



grupo que aporta más a su dieta es el de los roedores, lagartijas y artrópodos que se alimentan en la vegetación C<sub>3</sub> (Tabla 4; Fig. 9).

**Tabla 4.** Contribución a la dieta de cada grupo de alimentos por especie de mamífero consumidores nativos.

Especie	Hojas y frutos de vegetación C <sub>3</sub> y artrópodos que se alimentan en ella.	Hojas y frutos de vegetación C <sub>4</sub> /CAM y artrópodos que se alimentan en ella, y conejo castellano.	Alimentos de origen humano.	Roedores y lagartijas.
	Media ± Sd	Media ± Sd	Media ± Sd	Media ± Sd
Cacomixtle ( <i>B. astutus</i> )	22.1 % ± 6.9	34.8 % ± 11.3	20.5 % ± 16.6	22.6 % ± 13.3
Tlacuache ( <i>D. virginiana</i> )	37.2 % ± 10.8	12.6 % ± 6.6	15 % ± 13.1	35.2 % ± 19.3
Zorrillos ( <i>M. macroura</i> y <i>S. putoris</i> )	30.8 % ± 8.2	34.4 % ± 11.8	16.3 % ± 13.3	18.4 % ± 12.1
Zorra gris ( <i>U. cinereoargenteus</i> )	40 % ± 15.4	15.2 % ± 9.2	14.6 % ± 12.5	30.2 % ± 20.7



**Figura 9.** Contribución de diferentes alimentos a la dieta los mamíferos medianos nativos del Pedregal de San Ángel.

Para los mamíferos consumidores introducidos (MCI), es decir, gatos y perros, las inferencias tróficas obtenidas a través del modelo de mezcla sugirieron que el grupo de los roedores y lagartijas fue el que tiene mayor importancia en la dieta de los gatos, mientras que para los perros el grupo más importante en la dieta fue el de presas que se alimentan tanto de vegetación C<sub>4</sub>/CAM como de C<sub>3</sub>, como el conejo castellano (Tabla 5). El grupo que menos aportó a la dieta de gatos y perros fue el de

los mamíferos medianos, representando 5.2 % y 7.1 % de la dieta asimilada, respectivamente, seguido por el alimento de origen humano, el cual correspondió al 6.6 % y 9.1 % de la dieta total (Fig. 10).

**Tabla 5.** Contribución a la dieta de cada tipo de alimentos por cada especie de mamíferos consumidores introducido.

Especie	Herbívoros que se alimentan de vegetación C <sub>4</sub> y CAM, como el conejo castellano.	Mamíferos medianos nativos (tlacuaches y cacomixtles).	Alimentos de origen humano.	Roedores, lagartijas, y artrópodos que se alimentan en vegetación C <sub>3</sub> .
	Media ± Sd	Media ± Sd	Media ± Sd	Media ± Sd
Gato ( <i>F. catus</i> )	29.9 % ± 22.1	5.2 % ± 9.5	6.6 % ± 11.5	58.4 % ± 23.3
Perro ( <i>C. lupus familiaris</i> )	62.3 % ± 26.3	7.1 % ± 11.3	9.1 % ± 14.5	21.5 % ± 18

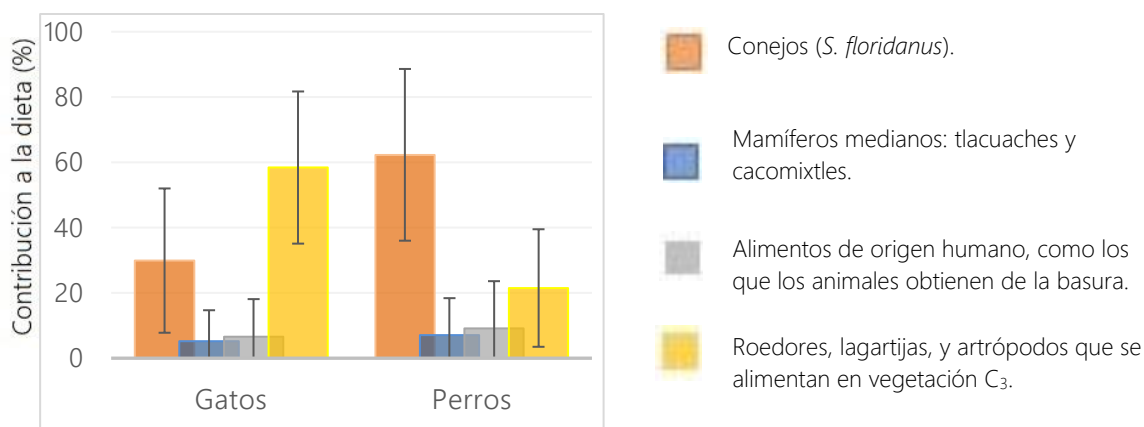


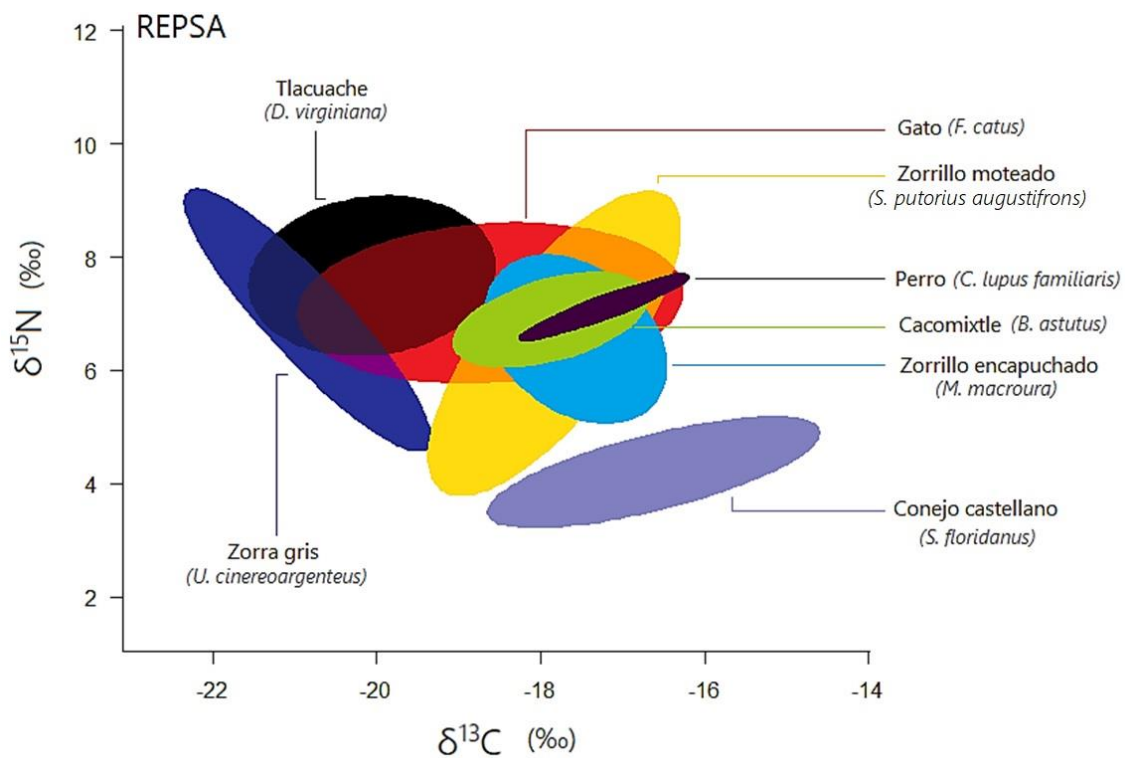
Figura 10. Contribución de diferentes tipos de alimentos a la dieta los mamíferos medianos introducidos del Pedregal de San Ángel.

### 5.3. Comparación en el traslape de nicho trófico

En la REPSA, el mamífero mediano que presentó mayor espacio de nicho trófico fue el zorrillo moteado, con 8.1 ‰<sup>2</sup>. Por otro lado, la especie con el menor nicho fue el perro con 0.6 ‰<sup>2</sup>. En general, los nichos isotópicos se encontraron muy agregados entre sí (Tabla 6), pero el SEA<sub>c</sub> del gato fue el único que se solapó con todas las especies (Fig. 11). El gato tuvo un área de nicho relativamente grande, de 7.7 ‰<sup>2</sup>.

**Tabla 6.** Espacio del nicho isotópico ( $SEA_c \text{‰}^2$ ) ocupado por cada especie de mamífero mediano de la REPSA y el porcentaje de traslape con otras especies. El valor de  $SEA_c$  está definido en notación delta ( $\delta$ ) reportado en partes por mil ( $\text{‰}$ ) de los estándares internacionales.

Especie	$SEA_c$	Porcentaje del área del $SEA_c \text{‰}^2$ que se traslapa con:							
		Tlacuache	Cacomixtle	Gato	Zorra	Perro	Z. encapuchado	Z. moteado	Conejo
Tlacuache	$6.50 \text{‰}^2$		0	37.20	33.91	0	0	0	0
Cacomixtle	$2.69 \text{‰}^2$	0		91.12	0	17.69	82.84	91.74	0
Gato	$7.71 \text{‰}^2$	31.37	31.82		4.40	5.82	32.53	35.71	0
Zorra gris	$6.12 \text{‰}^2$	36.01	0	5.54		0	0	7.06	0
Perro	$0.60 \text{‰}^2$	0	79.61	75.04	0		71.70	92.39	0
Z. encapuchado	$4.82 \text{‰}^2$	0	46.28	52.03	0	8.90		76.50	0
Z. moteado	$8.49 \text{‰}^2$	0	29.12	32.46	5.09	6.52	43.47		0
Conejo	$4.26 \text{‰}^2$	0	0	0	0	0	0	0	



**Figura 11.** Espacio del nicho isotópico ( $SEA_c \text{‰}^2$ ) de los mamíferos medianos de la REPSA. La elipse de cada especie engloba aquellos datos que se ubicarán dentro de un 95% de intervalo de confianza en las distribuciones bivariadas, es decir, de ambos isótopos estables ( $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$ ). La gráfica se generó en R utilizando la paquetería SIBER (Jackson *et al.*, 2011) y se editó con el programa Paint para añadir color.

El  $SEA_c$  del conejo castellano no coincidió con ninguna de las otras especies de mamíferos. El tlacuache sólo se solapó con la zorra gris (*U. cinereoargenteus*). La especie con mayor solapamiento con otros nativos fue el zorrillo moteado (con el cacomixtle, la zorra gris y el zorrillo encapuchado). En

el caso de los mamíferos medianos no nativos, el espacio de nicho isotópico de los perros correspondió solo a un pequeño subconjunto del amplio espacio de nicho del gato, el cual cubrió una porción de los otros mamíferos medianos (excepto al conejo).

Por último, se realizó un análisis de nicho con los valores de los mamíferos del BT (Tabla 7). En este sitio el área ocupada por el gato fue la mayor (5.3 ‰<sup>2</sup>), seguido por el cacomixtle (5 ‰<sup>2</sup>) y por último el tlacuache (2.8 ‰<sup>2</sup>). En este caso los nichos de las tres especies coincidieron entre sí (Fig. 12). El cacomixtle cubrió gran parte del nicho del tlacuache (66.3 %), a diferencia de la REPSA, donde no se solaparon.

**Tabla 7.** Espacio del nicho isotópico (SEAC ‰<sup>2</sup>) ocupado por cada especie de mamífero mediano del BT y el porcentaje de solapamiento con otras especies. El valor de SEAC está definido en notación delta (δ) reportado en partes por mil (‰) de los estándares internacionales.

Especie	SEAC ‰ <sup>2</sup>	Porcentaje del SEAC ‰ <sup>2</sup> que se traslapa con:		
		Tlacuache	Cacomixtle	Gato
Tlacuache	2.84 ‰ <sup>2</sup>		66.37	40.55
Cacomixtle	5.02 ‰ <sup>2</sup>	37.65		23.91
Gato	5.31 ‰ <sup>2</sup>	21.77	22.63	

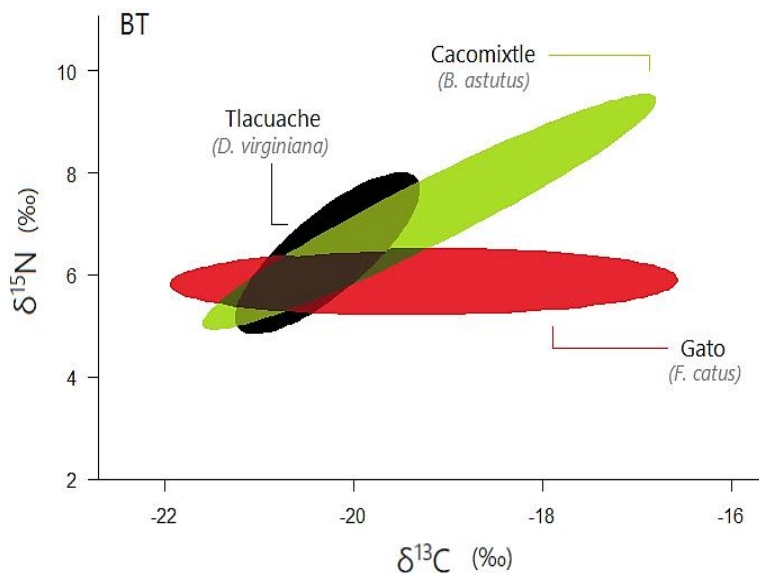


Figura 12. Nichos isotópicos de tlacuaches, cacomixtles y gatos del BT. La elipse de cada especie engloba aquellos datos que se ubicarán dentro de un 95% de intervalo de confianza en las distribuciones bivariadas, es decir, de ambos isótopos estables (<sup>13</sup>C y <sup>15</sup>N). La gráfica se generó en R utilizando la paquetería SIBER (Jackson *et al.*, 2011) y se editó con el programa Paint para añadir color.

#### 5.4. Variación en el uso de recursos entre temporadas y sitios

Las comparaciones de las firmas isotópicas de los mamíferos medianos entre diferentes sitios y temporadas se realizaron utilizando las muestras de sangre, pues este tejido indica información de la dieta asimilada en las últimas semanas a partir del momento de la toma de la muestra. Este análisis únicamente se realizó con los datos de los tlacuaches por tamaño de muestra (ver Tabla 8).

**Tabla 8.** Número de muestras de sangre obtenidas por temporada y sitio.

Especie	Sitio	Número de muestras de sangre colectadas	
		Lluvias	Secas
Tlacuaches	REPSA	5	7
	BT	5	7
Cacomixtles	REPSA	2	3
	BT	0	2
Gatos	REPSA	1	2
	BT	0	2

En el caso de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , el análisis mostró que el sitio es el factor más significativo que influye en los valores de este isótopo en la sangre de los tlacuaches, es decir, el grado en que los tlacuaches utilizan la vegetación  $\text{C}_3$  en su alimentación difiere entre ambos sitios: en el BT, la vegetación tipo  $\text{C}_3$  es más importante en la base de la cadena trófica que para los tlacuaches de la REPSA. Por otro lado, la temporada de captura no fue una variable significativa para determinar el grado en que los tlacuaches usan la vegetación  $\text{C}_3$ , aunque la interacción entre ambos factores (sitio/temporada) fue significativa (Tabla 9; Fig. 13), el patrón entre temporadas en cuanto a uso de vegetación  $\text{C}_3$  difiere entre sitios.

**Tabla 9.** Prueba de ANOVA de dos factores de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  del pelo de los tlacuaches. Los valores de  $P$  menores de 0.05 indican diferencias significativamente.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	$F$	$P$
Temporada	1	1.37	1.37	3.04	0.09
Sitio	1	8.40	8.40	18.65	0.01
Interacción entre factores	1	2.33	2.33	5.19	0.05
Residuos	20	9.01	0.45		



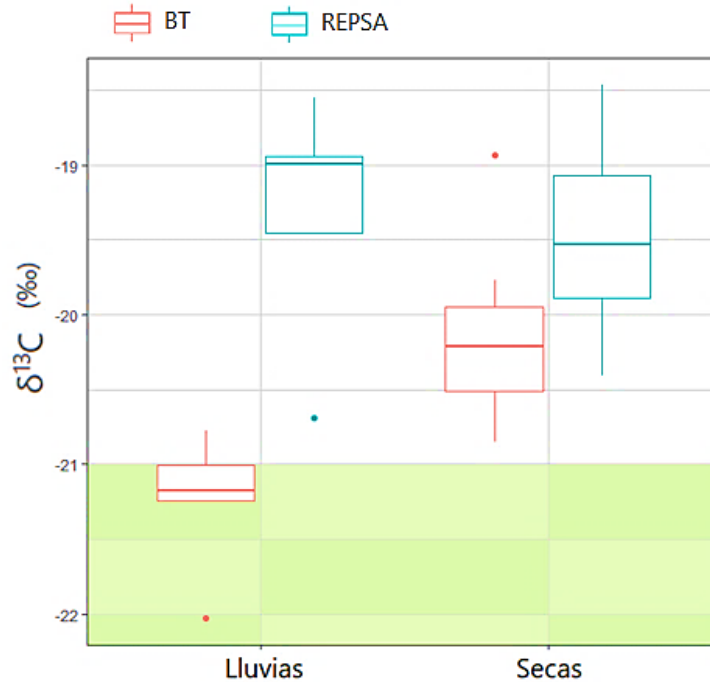
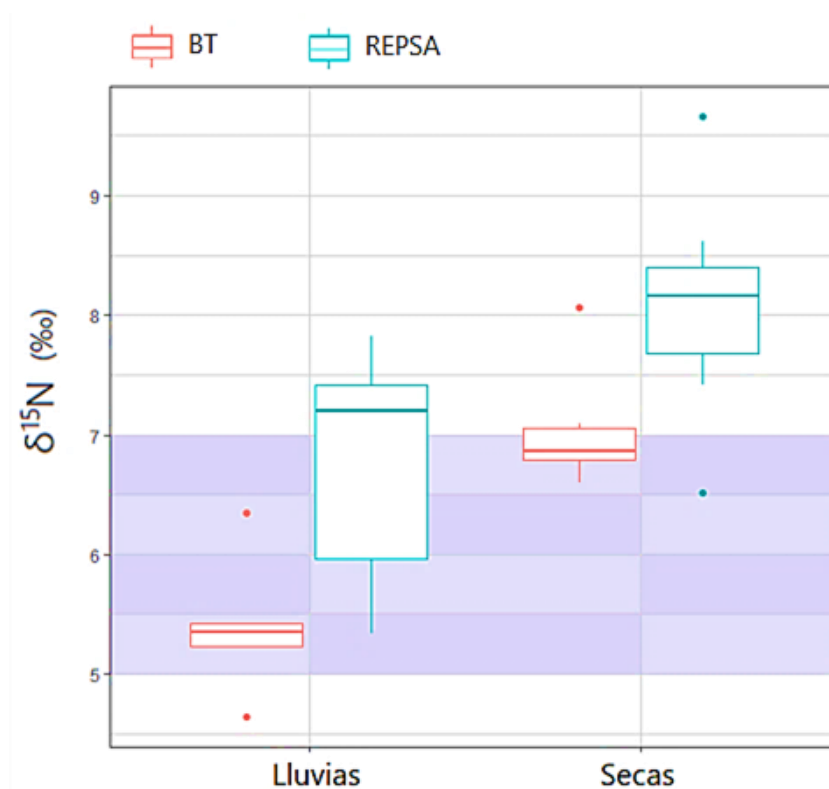


Figura 13. Diagramas de *Tukey* donde se muestran las diferencias entre los valores de ‰  $\delta^{13}\text{C}$  de la sangre de los tlacuaches del pedregal. El área en color verde delimita los valores de ‰  $\delta^{13}\text{C}$  de especies que dependen de una fuente basal de plantas con metabolismo tipo  $\text{C}_3$  en la base de la cadena trófica con base en Boutton (1991) y Ehleringer (1991).

El análisis de ANOVA de dos factores con los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , mostró que el sitio y la temporada de colecta fueron factores significativos determinantes de los valores de la sangre de los tlacuaches. La interacción entre ambos factores no tuvo un efecto significativo (Tabla 10; Fig. 13). En ambas temporadas los tlacuaches del BT se alimentan de presas de menores niveles tróficos con relación a las presas de los tlacuaches de la REPSA. En ambos sitios se observa el mismo patrón entre temporadas: en la temporada seca los tlacuaches aumentan su consumo de presas de niveles tróficos superiores.

**Tabla 10.** Prueba de ANOVA de dos factores de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de la sangre de los tlacuaches. Los valores de  $P$  menores de 0.05 indican diferencias significativas.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	$F$	$P$
Temporada	1	12.73	12.73	19.53	< 0.01
Sitio	1	8.20	8.20	12.57	< 0.01
Interacción entre factores	1	0.14	0.14	0.21	0.64
Residuos	20	13.04	0.65		



**Figura 14.** Diagramas de *Tukey* donde se muestran las diferencias entre los valores de ‰  $\delta^{15}\text{N}$  de la sangre de los tlacuaches del pedregal. El área en color morado delimita los valores de ‰  $\delta^{15}\text{N}$  que caracteriza a especies consideradas carnívoras de acuerdo con Kelly (2000).

A manera ilustrativa, los nichos tróficos de los tlacuaches capturados en diferentes temporadas en la REPSA muestran amplio traslape, a diferencia de los nichos tróficos entre los tlacuaches muestreados en diferentes temporadas en el BT, lo cual podría ser un indicio de que en este sitio los

tlacuaches modifican considerablemente su fuente principal de alimento dependiendo de la temporada. Por otro lado, los nichos de los tlacuaches de diferentes sitios de estudio no se traslapan considerablemente (Fig. 15).

Como se mencionó anteriormente, no se contó con un número suficiente de muestras para comparar los valores isotópicos de cacomixtles y gatos de diferentes temporadas y sitios. Sin embargo, con base en los valores isotópicos conseguidos de cacomixtles colectados en la REPSA, posiblemente la variación en su dieta entre temporadas siga un patrón similar al de los tlacuaches, donde en la temporada de lluvias los valores isotópicos, tanto de  $\delta^{13}\text{C}$  como de  $\delta^{15}\text{N}$  son menores, con relación a la temporada de secas (Fig. 16), patrón que no se observa con los valores isotópicos de la sangre de los gatos (Fig. 17).

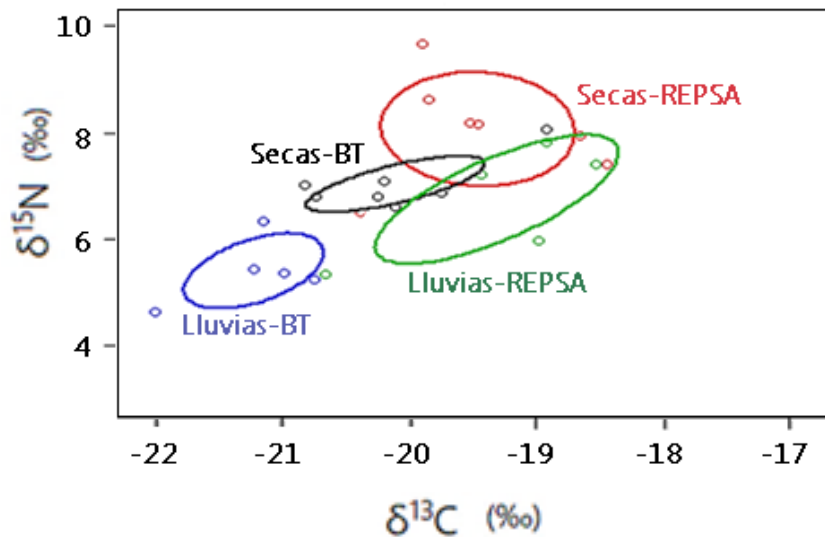


Figura 15. Espacio del nicho isotópico ( $\text{SEAc } \text{‰}^2$ ) de los tlacuaches de cada sitio de estudio y de cada temporada.



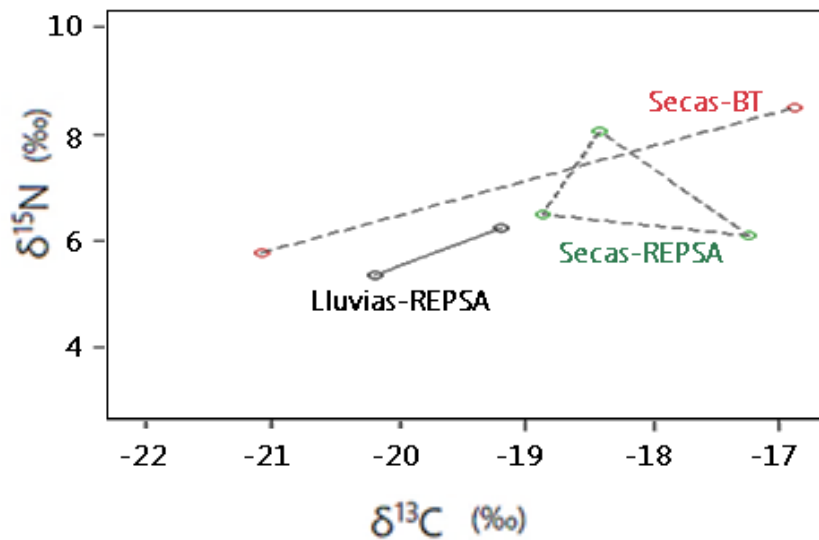


Figura 16. Esquematzación de los valores isotópicos de los cacomixtles por sitio y temporada.

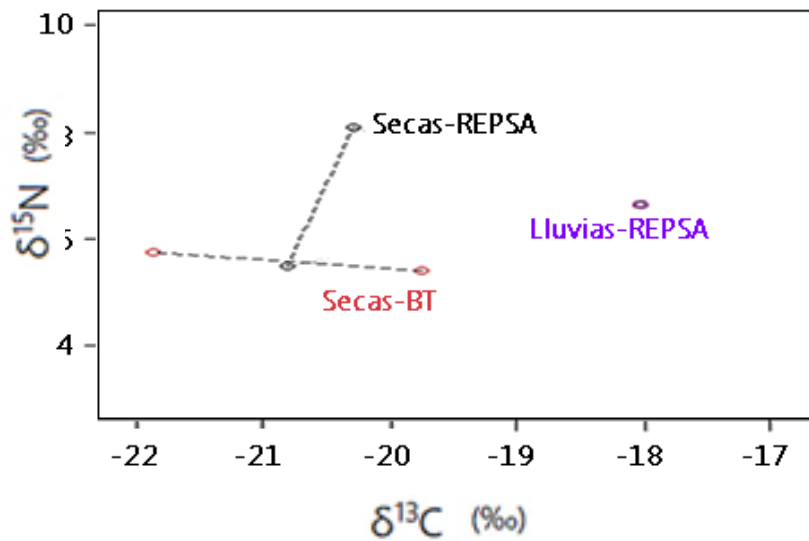


Figura 17. Esquematzación de los valores isotópicos de los gatos por sitio y temporada.

Los animales de los cuales se logró obtener tanto sangre como pelo fueron 21 tlacuaches, siete cacomixtles y dos gatos. Esta información permite interpretar la variación individual dentro de una misma población. En los tlacuaches capturados en la REPSA en temporada de secas, hubo diferencias significativas entre los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de su pelo y su sangre ( $F_{[6,6]} = 4.8, P = 0.07; U_{(6)} = 0, P = 0.01$ ),

pero no fue así en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $F_{[6,6]} = 2.7, P = 0.2; U_{(6)} = 14, P = 1$ ). Por otro lado, los tlacuaches del BT capturados en secas, no presentaron diferencias entre los valores isotópicos de su pelo y su sangre, tanto de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $F_{[5,5]} = 0.6, P = 0.6; U_{(5)} = 15, P = 0.4$ ), como de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $F_{[5,5]} = 4.6, P = 0.1; U_{(5)} = 5, P = 0.5$ ; Fig. 18).

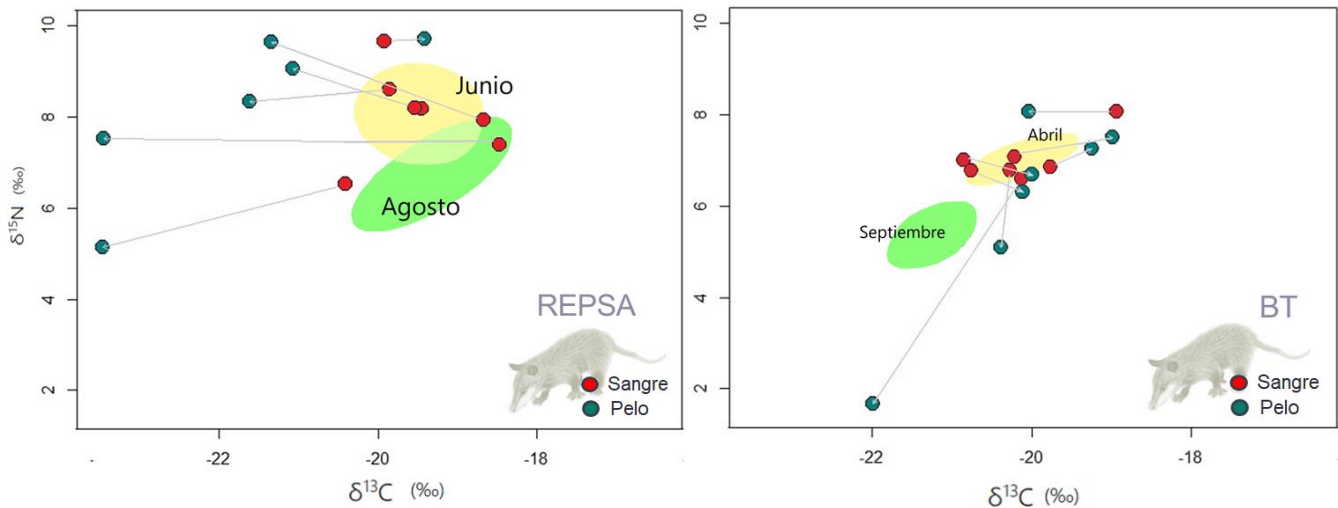


Figura 18. Valores  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  del pelo y la sangre de tlacuaches. Los datos de cada individuo están unidos por líneas. Las firmas isotópicas de la sangre se indican con puntos rojos, y las firmas isotópicas del pelo se indican con puntos azules. A la derecha (REPSA), y a la izquierda (BT).

Tampoco se encontraron diferencias significativas entre los valores isotópicos de los tejidos de los cacomixtles de la REPSA, ni en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $F_{[4,4]} = 0.7, P = 0.77; U_{(4)} = 13, P = 0.1$ ), ni de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $F_{[4,4]} = 0.4, P = 0.4; U_{(4)} = 12, P = 0.3$ ; Fig. 18). No fue posible realizar este análisis con los datos de los cacomixtles y gatos capturados en el BT, por el pequeño tamaño de muestra.

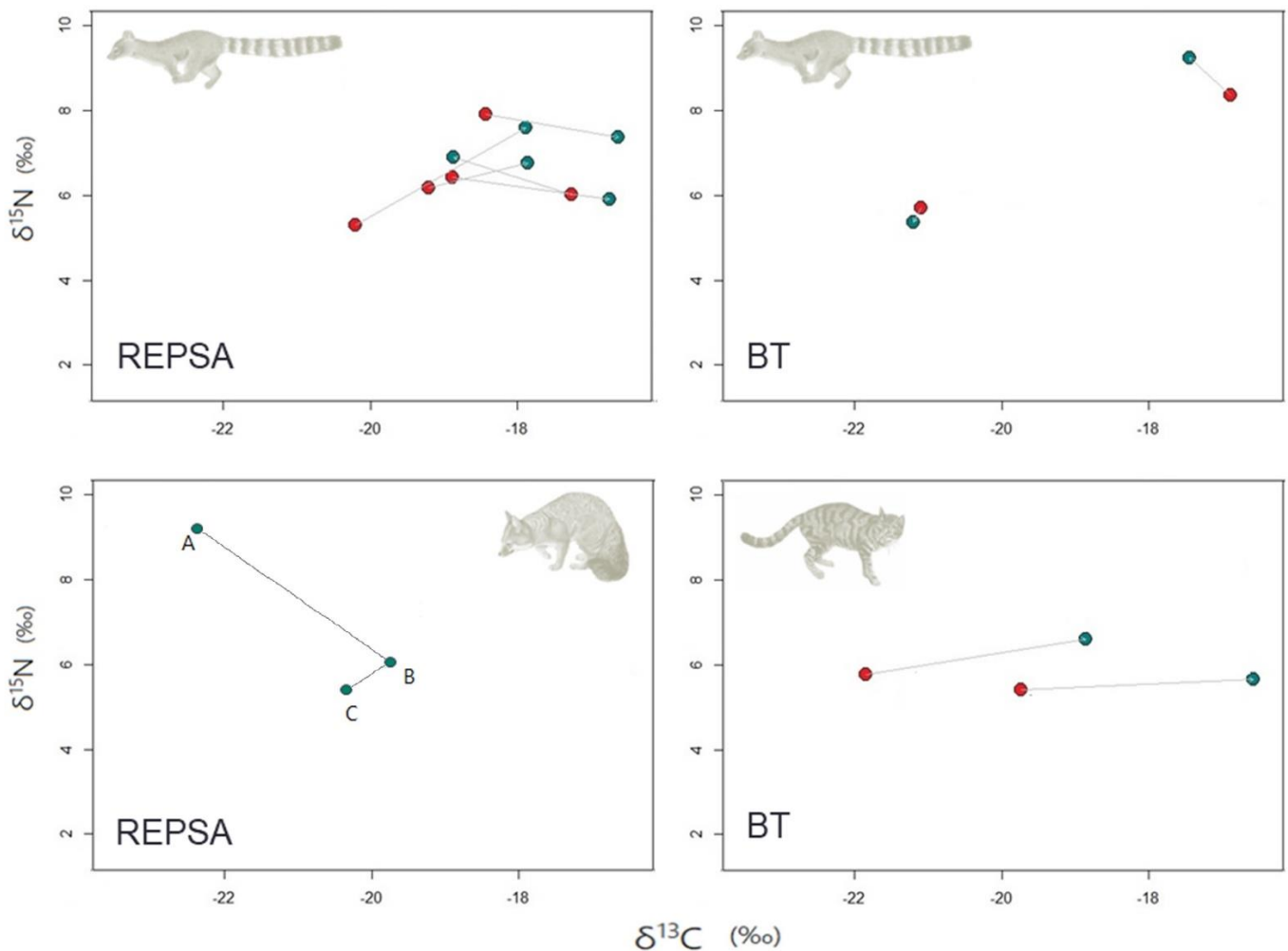


Figura 19. Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  del pelo y la sangre de cacomixtles, gatos y zorra gris. Los datos de cada individuo están unidos por líneas. Las firmas isotópicas de la sangre se indica con puntos rojos, y las firmas isotópicas del pelo se indican con puntos azules. A la derecha (REPSA), y a la izquierda (BT). En el caso de la zorra gris la muestra A corresponde a la sección de pelo de la raíz, la muestra B a la sección de en medio del mechón de pelo y la muestra C corresponde a las puntas.

Por último, en el caso de la zorra gris, sólo se contó con tres muestras de un mismo individuo encontrado muerto en el 2007, las cuales presentaron marcadas diferencias en sus valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y de  $\delta^{15}\text{N}$ , posiblemente debido a la variación en la dieta de ese mismo individuo a lo largo del tiempo.

---

## 6. DISCUSIÓN

Una de las principales novedades de este estudio es la perspectiva que se utiliza para construir la estructura trófica de la cual forman parte los mamíferos nativos e introducidos del ecosistema del pedregal, donde también se toma en cuenta el aporte nutricional de los alimentos humanos a la dieta de estas especies.

Los resultados mostraron que *P. gratus*, *N. mexicana*, *O. variegatus* y *S. variegatus* se alimentan principalmente de recursos provenientes de una vegetación tipo  $C_3$ , así como de los artrópodos que se alimentan en este tipo de vegetación. Aunque estas especies también pueden alimentarse de pastos y cactáceas (Anderson, 2000; Tapia-Ramírez *et al.*, 2012), estos recursos no proporcionan un aporte tan significativo a su dieta.

A diferencia de los roedores, para el conejo castellano (*S. floridanus*) tanto plantas  $C_3$  como plantas  $C_4$ /CAM poseen un gran aporte a su dieta (56% y 44% respectivamente). En la REPSA, entre las plantas con metabolismo  $C_3$  reportadas como alimento para esta especie están *Buddleja cordata*, *Jaltomata* sp., *Physalis glutinosa*, *Jaegeria hirta*, *Galinsoga* sp. y *Bidens bigelovii* (Glebskiy, 2019). Mientras que algunas plantas  $C_4$  de las cuales se alimentan son pastos como *Muhlenbergia robusta* y *Rhynchelytrum repens*. Estos conejos también se alimentan de plantas de metabolismo CAM como manfreda (*Manfreda scabra*; Eguiarte y Búrquez, 1987; Glebskiy, 2019) y de los frutos de nopales *Opuntia tomentosa* (Glebskiy, 2019).

El resto de los mamíferos medianos nativos de este estudio son especies omnívoras, y aunque los análisis de excretas indican que su alimentación consta de una gran proporción de material vegetal (Castellanos, 2006; García, 2007; Granados, 2008), nuestros resultados muestran que también son depredadores importantes y que se encuentran en los niveles más altos de la estructura trófica del

---

ecosistema del pedregal, al igual que la serpiente de cascabel. Estos mamíferos consumen roedores, pájaros, huevos, lagartijas, serpientes, insectos e invertebrados pequeños (Fritzell y Haroldson, 1982; Davis y Schmidly, 1994; Reid, 1997; Cantú-Salazar *et al.*, 2005; Castellanos *et al.*, 2008; Dragoo, 2009; Christiansen, 2006; McRuer y Jones, 2009; Aranda, 2012; Villalobos *et al.*, 2014) pero de acuerdo con sus valores isotópicos, en el pedregal ciertos grupos de presas poseen mayor importancia para cada especie. Por un lado, los principales aportes a la alimentación de los cacomixtles y zorrillos son los animales que se alimentan tanto de vegetación C<sub>3</sub> como de C<sub>4</sub>-CAM. Mientras que el principal aporte nutricional en la alimentación de la zorra gris y de los tlacuaches es obtenido de organismos que se alimentan mayormente de la vegetación C<sub>3</sub>.

En las excretas de cacomixtles de la REPSA se han encontrado con mayor frecuencia ratón piñonero (*P. gratus*) y rata de monte (*N. mexicana*) que conejos (*S. floridanus*; Castellanos, 2006). Pero de acuerdo con el análisis de mezclas, las presas que poseen una alimentación como los conejos poseen gran importancia en cuanto al aporte nutricional (34.8 % ± 11.3 de aporte a su dieta). Los zorrillos (*M. macroura* y *S. putorius*) presentaron un patrón de nicho trófico que se empalmó con el del cacomixtle, aunque tuvieron áreas de nicho mayores, lo cual refleja la variabilidad intra-poblacional en cuanto a la elección de presas (Newsome *et al.*, 2007). Asimismo, los zorrillos mostraron los rangos más amplios de  $\delta^{15}\text{N}$ . Esto podría indicar que para los zorrillos la principal fuente de proteína proviene de artrópodos, tanto herbívoros como depredadores, los cuales presentan una gran variación en sus firmas de  $\delta^{15}\text{N}$  (López-Gómez, 2010).

Aun cuando la información de la zorra gris de este estudio proviene de un solo individuo, los valores isotópicos sugieren que su dieta es muy variada a través del tiempo y que proviene de presas de diferentes niveles tróficos. El análisis de mezclas sugirió que las principales presas de las que se alimentó la zorra gris en el pedregal fueron roedores, lagartijas y artrópodos que consumen

---

vegetación C<sub>3</sub>. Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de este ejemplar de zorra gris ( $-20.840 \pm 1.367\text{‰}$ ) se encontraron más enriquecidos en isótopo pesado en comparación con los valores de zorras grises capturados en Adirondack Park, Reserva Forestal de Nueva York ( $-21.8 \pm 0.9\text{‰}$ ; Warsen *et al.*, 2014), lo cual podría indicar que la zorra gris del pedregal consume y asimila más recursos provenientes de vegetación C<sub>4</sub> y CAM en comparación con las zorras de Adirondack Park.

Hasta ahora no había estudios enfocados a describir la dieta del tlacuache en el ecosistema del pedregal. Los resultados del análisis de mezclas indican que esta especie, como la zorra gris, se alimenta principalmente de presas que consumen vegetación C<sub>3</sub> como artrópodos, roedores y lagartijas. Aunque los tlacuaches no son cazadores tan ágiles, es muy probable que el consumo de artrópodos sea más común (Reid, 2006). Además, esta especie consume carroña con frecuencia (Reid, 2006; DeVault *et al.*, 2011), la cual podría ser un aporte especialmente importante de proteínas para su dieta, haciendo que sus valores de  $\delta^{15}\text{N}$  sean incluso más altos que los de cacomixtles o serpientes de cascabel.

A diferencia de los tlacuaches de la REPSA, en el BT los tlacuaches modifican considerablemente su fuente principal de alimento dependiendo de la temporada. Debido a que los tlacuaches son altamente oportunistas en cuanto a su elección de alimento (Nowak 1991; Emmons y Feer 1997; Ceballos y Oliva, 2005), este patrón puede ser resultado de que en el BT la disponibilidad de alimentos se ve modificada por la cantidad de lluvia. En el caso de los tlacuaches del BT, los valores de isótopos pesados en sus tejidos son más altos en la temporada seca, pudiendo reflejar un mayor consumo de presas como vertebrados, carroña y/o alimento humano, con respecto a la temporada de lluvias, donde es probable que los tlacuaches se alimenten de niveles tróficos menores, como artrópodos, y de la vegetación. La dieta de la población de tlacuaches de la REPSA es muy variable a nivel individual, por otro lado, en el BT los tlacuaches mantienen una dieta menos variable entre individuos, que se

---

modifica dependiendo de la temporada, pero este cambio en la elección de la dieta es similar entre los individuos de la población. Esto podría deberse a que en la REPSA las alteraciones humanas del ambiente mantienen más constante la disponibilidad de alimento para esta especie a través de las temporadas.

Es importante considerar que los resultados del análisis de isótopos estables de este estudio indican sólo el aporte proteico de los alimentos a la dieta de los animales, pues los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  fueron obtenidos a partir de la sangre y la queratina del pelo, los cuales son tejidos formados principalmente por proteínas, por lo que el análisis de estos tejidos proporciona información sobre el origen de los elementos que forman estas moléculas. Por tanto, los resultados de nuestros análisis no descartan que el consumo de alimentos de origen vegetal sea de gran importancia para los requerimientos nutricionales de los mamíferos medianos del pedregal. Por ejemplo, Castellanos (2006) menciona que los alimentos de origen vegetal tienen la misma importancia que los de origen animal en la alimentación de los cacomixtles del pedregal y otros estudios reportan que esta especie consume cantidades considerables de alimento de origen vegetal como frutos (Trapp, 1978; González-Saldivar, 1982; Alexander *et al.*, 1994) y posiblemente néctar de las flores (Nava-Vargas *et al.*, 1999). También los tlacuaches, zorras grises y zorrillos consumen alimento de origen vegetal que incluye frutos (Fritzell y Haroldson, 1982; Davis y Schmidly, 1994; Reid, 1997; Christiansen, 2006; García, 2007; McRuer y Jones, 2009; Aranda, 2012; Villalobos *et al.*, 2014), pero es probable que estos alimentos sean una contribución importante de carbohidratos a la dieta más que de proteínas.

Otro punto importante fue que no se tomaron en cuenta todos los alimentos potenciales para los mamíferos medianos. Por ejemplo, uno de los grupos que no se incluyó en el análisis fue el de las aves. Esto fue debido a que las muestras de aves presentaron valores isotópicos muy dispersos y altamente enriquecidos en  $\delta^{15}\text{N}$  (hasta de 11.3‰). Esto podría ser resultado de que la movilidad de

---

las aves les permite alimentarse en sitios fuera de la zona con vegetación del pedregal. Sin embargo, al igual que las muestras de aves, algunas muestras de plantas e insectos presentaron valores muy altos de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $>7\%$ ). Estos valores podrían deberse en parte a la heterogénea topografía del paisaje del pedregal, pues este es un factor que influye en los procesos del ciclo del nitrógeno, como la desnitrificación y volatilización, que al mismo tiempo afecta los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  del suelo (Karamanos y Rennie, 1980; Karamanos *et al.*, 1981). A su vez, la volatilización del  $\text{NH}_3$ , derivada del uso de fertilizantes, es otro factor que influye en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ . Estudios anteriores indican que la variación de  $\delta^{15}\text{N}$  en la base de la estructura trófica puede atribuirse en gran medida al uso de fertilizantes ricos en nitrógeno (Ostrom *et al.*, 2002; Templer *et al.*, 2012; Wurster *et al.*, 2012). Tomando en cuenta lo anterior, tanto la humedad del suelo, que aumenta la desnitrificación, como la presencia de fertilizantes artificiales, podrían ser los determinantes de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de la vegetación del pedregal, ocasionando que los niveles de  $\delta^{15}\text{N}$  sean más elevados en los sitios con mayor cantidad de suelo, jardineras y pastos introducidos (zonas que son regadas constantemente) en comparación con las áreas que conservan el ecosistema original de del pedregal, donde existe poco suelo y el agua se infiltra rápidamente (Rzedowski, 1954; Castellanos-Vargas *et al.*, 2017). Sin embargo, hacen falta más estudios para confirmar esto y poder aprovechar este patrón para evaluar el grado en que los animales silvestres se alimentan en las zonas alteradas por la actividad humana como jardineras con vegetación exótica.

### 6.1. Interacciones de perros y gatos introducidos

En el ecosistema del pedregal, los perros y gatos se encuentran en los niveles tróficos superiores. El gato presentó una de las mayores áreas de nicho trófico ( $7.71\ \text{\%}^2$ ), con un amplio rango de valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , lo que implica que consume presas que consiguen alimento en diferentes tipos de vegetación, las cuales no difieren en gran medida en su nivel trófico. El análisis de mezclas coincidió con lo



---

encontrado por estudios previos, que identifican a los mamíferos como los principales recursos alimenticios de los gatos en la REPSA (Granados, 2008; Ramos-Rendón, 2010; Landeta-Solis, 2019). Adicionalmente, nuestros resultados indicaron que los roedores (*N. mexicana*, *P. gratus*, *O. variegatus*) y lagartijas (*Sceloporus torquatus*) tienen más importancia en la dieta de los gatos (58.4 %  $\pm$  23.3 de aporte a la dieta) que el de herbívoros como los conejos (29.9 %  $\pm$  22.1 de aporte a la dieta).

Por otro lado, el análisis de mezclas apunta a que los conejos son una parte importante del alimento que asimilan los perros de en la REPSA (62.3 %  $\pm$  26.3). El nicho trófico de esta especie introducida fue el más pequeño (0.60 ‰<sup>2</sup>), y aunque esto podría deberse al reducido tamaño de muestra, también podría indicar que los perros colectados regularmente consumían presas similares. Los perros, cuando se vuelven ferales, se agrupan y retoman características de los lobos, formando jaurías para la cacería (Cruz-Reyes, 2009) y aunque son consumidores oportunistas y pueden alimentarse de gran variedad de presas, son relativamente pocas especies las que constituyen el grueso de su dieta (Mitchell y Banks, 2005), esto podría explicar su reducida área de nicho trófico, aunque es conveniente ampliar el número de muestra para futuros estudios y confirmar esta afirmación.

Esta reportado que en el pedregal perros y gatos pueden consumir especies de mamíferos medianos omnívoros (Landeta-Solis, 2019), aunque de acuerdo con los resultados de este estudio, no obtienen un aporte importante a su dieta de esta fuente de alimento. La interacción trófica más importante que presentan con estas especies es la competencia y, de acuerdo con el análisis de nicho trófico, ésta podría ser especialmente marcada entre cacomixtles y gatos, pues la sobreposición de nichos isotópicos entre especies puede interpretarse como una fuente de alimento compartida (Vander Zanden *et al.*, 1999; Zambrano *et al.*, 2010).

---

Los perros y gatos están entre las especies invasoras más dañinas de todo el mundo (Bellard *et al.*, 2016; Doherty *et al.*, 2016, 2017; Mori *et al.*, 2019). En distintos ecosistemas están mermando poblaciones de fauna silvestre, llegando a causar extinciones, en especial de aves y mamíferos. Se ha documentado la depredación por parte de estas especies hacia la fauna silvestre (Moseby *et al.*, 2015; Doherty *et al.*, 2017; Villatoro *et al.*, 2018), pero los resultados de nicho trófico de este estudio alertan de que otras interacciones, como la competencia, también son factores que podrían tener repercusiones potencialmente importantes para la fauna silvestre, particularmente para los mesodepredadores nativos.

### 6.3. Alimento humano en la dieta de los mamíferos

Los trabajos anteriores que describen los hábitos alimentarios de los mamíferos en el pedregal, tanto nativos como introducidos, han mencionado que los animales consumen alimento humano de la basura (Castellanos, 2006; García, 2007; Granados, 2008). Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  enriquecidos en isótopo pesado pueden ser un indicio del uso de comida antropogénica por parte de los mamíferos silvestres (Newsome *et al.*, 2014, 2015), ya que la incorporación de maíz y sus derivados en alimentos antropogénicos, les confieren valores detectables específicos de  $\delta^{13}\text{C}$  (Boi *et al.*, 2002; McCullagh *et al.*, 2005; Jahren *et al.*, 2008). Por ejemplo, de acuerdo con Newsome (2015), zorras orejonas (*Vulpes macrotis*) que consumían constantemente alimentos antropogénicos presentaron valores de  $\delta^{13}\text{C}$  enriquecidos de isótopo pesado ( $-17.4 \pm 1 \text{ ‰}$ ) en su pelo. En este trabajo algunos mamíferos medianos presentaron valores cercanos a esta población de zorros, como el perro ( $-17.6 \pm 0.1 \text{ ‰}$ ), el cacomixtle ( $-17.4 \pm 0.9 \text{ ‰}$ ), el gato ( $-17.8 \pm 1.4 \text{ ‰}$ ), el zorrillo encapuchado ( $-17.5 \pm 0.7 \text{ ‰}$ ) y el zorro moteado ( $-17.9 \pm 1.4 \text{ ‰}$ ). Sin embargo, la heterogeneidad de la vegetación de la zona de pedregal no permite hacer esta aseveración.

---

En cuanto a los resultados del análisis de mezclas, se podría afirmar que los alimentos humanos de la basura no representan un recurso importante que los mamíferos del pedregal asimilen en su dieta. Posiblemente la especie que más aprovecha esta fuente de alimento sea el cacomixtle (20.5 %  $\pm$  16.6 de aporte a la dieta) en comparación con las otras especies. Pero por la dispersión de los datos, es probable que el consumo de alimentos antropogénicos no sea una conducta generalizada para toda la población de los mamíferos silvestres en el pedregal y que, para la mayoría de los individuos, el alimento de los basureros sea sólo una fuente suplementaria, aunque no exclusiva de alimento.

### 6.3. Estructura trófica, implicaciones para la conservación

Históricamente, los depredadores tope de la zona del Pedregal de San Ángel eran los pumas, y posiblemente coyotes y lince (Carrillo-Trueba, 1995; Castellanos *et al.*, 2008). Estas especies han sido extirpadas de las zonas más fragmentadas de este ecosistema, como la REPSA y el BT, pues son más sensibles a los procesos de urbanización como la fragmentación y degradación del hábitat (Woodroffe y Ginsberg, 1998; Crook, 2002). Cuando los grandes depredadores son removidos, los mesodepredadores, como gatos, cacomixtles y zorros, pueden incrementar rápidamente su abundancia, ya que tienden a ser especies más generalistas, con una mayor tasa reproductiva. Esto puede causar la disminución o extinción de algunas presas como aves, roedores y reptiles (Crooks y Soulé, 1999; Johnson *et al.*, 2007; Bergen *et al.*, 2008). En los remanentes del ecosistema del pedregal, al no existir superdepredadores, las especies de mamíferos medianos mesodepredadores, incluyendo zorrillos, cacomixtles, tlacuaches y zorras grises, son los depredadores tope, como se ilustra en la estructura trófica de este trabajo, y en algunos casos ocupan nichos tróficos empalmados entre sí (por ejemplo, entre cacomixtles y zorrillos) así como con los mamíferos ferales, en especial con los gatos. Esta podría ser parte de la explicación de la tentativa desaparición de zorrillo encapuchado de la



---

REPSA, a pesar de que es una especie capaz de sobrevivir en zonas urbanas (Ceballos y Galindo, 1984). La competencia por recursos con mesodepredadores más abundantes como el cacomixtle y gatos, podría haber contribuido en gran medida a su disminución poblacional en esta área.

Finalmente, de lo anterior se desprende que el control de perros y gatos en los remanentes del ecosistema del pedregal es una medida que beneficia a las especies nativas que estos depredan, como lagartijas y roedores, pero también a los mamíferos medianos nativos, con los cuales compiten por los recursos. En el caso del BT, donde los gatos son muy abundantes, es necesario implementar medidas de control de esta especie y realizar más estudios para conocer aspectos demográficos y ecológicos de los mamíferos nativos e introducidos. En la REPSA, donde actualmente se llevan a cabo medidas de control de fauna feral, es recomendable monitorear a nivel temporal la abundancia de las especies nativas, así como de la estructura trófica, para saber de qué manera las especies nativas están respondiendo. Tales acciones permitirán interpretar cómo el control de estos mamíferos introducidos tiene un impacto en la recuperación de las especies nativas, pero también en la restauración de la estructura trófica, es decir, a nivel del ecosistema.

---

## 7. CONCLUSIONES

- La fuente basal de carbono más importante para *S. aureogaster*, *O. variegatus*, *P. gratus* y *N. mexicana* son las plantas con metabolismo C<sub>3</sub>, mientras que para el conejo castellano (*S. floridanus*) las plantas tipo CAM/C<sub>4</sub> son tan importantes en su dieta como las plantas tipo C<sub>3</sub>.
- Los principales aportes a la alimentación de los cacomixtles y zorrillos provienen de presas que se alimentan tanto de vegetación C<sub>3</sub> como de C<sub>4</sub>-CAM. Mientras que en la alimentación de los tlacuaches el principal aporte nutricional es obtenido de organismos que se alimentan mayormente de la vegetación C<sub>3</sub>.
- Los principales aportes a la alimentación de los gatos provienen de roedores, lagartijas, y artrópodos que se alimentan en vegetación C<sub>3</sub>, mientras que para los perros los principales aportes provienen de herbívoros como los conejos (*S. floridanus*). Los cacomixtles y tlacuaches no representan un aporte importante para la dieta de estas especies introducidas.
- El mamífero nativo que presentó mayor área de nicho trófico fue el zorrillo moteado con un amplio rango en sus valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , implicando variación en cuanto a tipo de recursos de diferentes niveles tróficos. El nicho trófico de los perros fue el más pequeño, indicando que los individuos de estas especies no difieren notablemente entre sí en la elección de presas. Este correspondió solo a un pequeño subconjunto del amplio espacio de nicho del gato.
- El gato es la especie que interfiere de forma más evidente en las redes tróficas de la fauna nativa silvestre y podría tener efectos adversos para estas especies, pues además de consumir una gran variedad de presas de diferentes tipos de vegetación, su nicho trófico se empalma con el de los mamíferos depredadores nativos, lo cual indica que existe competencia por los recursos alimenticios, en especial con cacomixtles y zorrillos.

- 
- o La dieta de la población de tlacuaches en la REPSA es muy variable entre los individuos, por otro lado, aparentemente en el BT los tlacuaches mantienen una dieta similar entre individuos, la cual se modifica dependiendo de la temporada, pero la elección de la dieta cambia siguiendo un patrón afín entre los individuos de la población.

---

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre-Muñoz, A., R. Mendoza-Alfaro, H. A. Ponce-Bernal, L. Arriaga-Cabrera, E. Campos-González, S. Contreras-Balderas, M. E. Gutiérrez, F. J. Espinosa-García, I. Fernández-Salas, L. Galaviz-Silva, F. J. García-de-León, D. Lazcano-Villarreal, M. Martínez-Jiménez, M. E. Meave-del-Castillo, R. A. Medellín, E. Naranjo-García, M. T. Olivera-Carrasco, M. Pérez-Sandi, G. Rodríguez-Almaraz, G. Salgado-Maldonado, A. Samaniego-Herrera, E. Suárez-Morales, H. Vibrans y J. A. Zertuche-González. 2009. *Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía, en Capital natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México.
- Alexander, L. F., B. J. Verts, y T. P. Farrell. 1994. Diet of Ringtails (*Bassariscus astutus*) in Oregon. *Northwestern Naturalist*, 75: 97-101.
- Álvarez, S. F. J., J. L. Carabias-Lillo, J. Meave del Castillo, P. Moreno-Casasola, D. Nava-Fernández, F. Rodríguez-Zahar, C. Tovar-González y A. Valiente-Banuet. 1982. *Proyecto para la Creación de una Reserva en el Pedregal de San Ángel*. Serie Cuadernos de Ecología, No. 1. México, D.F: Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Álvarez, F. J., J. L. Carabias-Lillo, J. Meave del Castillo, P. Moreno-Casasola, D. Nava Fernández, F. Rodríguez-Zahar, C. Tovar González y A. Valiente-Banuet. 1994. Proyecto para la creación de una reserva en el Pedregal de San Ángel. Pp. 343- 353, en: Rojo, A. (ed.). *Reserva Ecológica "El Pedregal de San Ángel"*. *Ecología, Historia Natural y Manejo*, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- 
- Ambrose, S. H. y M. J. DeNiro. 1986. The isotopic ecology of East African mammals. *Oecologia*, 69: 395-406.
- Anderson, S. D. 2000. Reproduction and dynamics of deer mice. Pp. 238-239, en: Nadkarni, N. M. y N. T. Wheelwright (eds.). *Monteverde: Ecology and Conservation of a Tropical Cloud Forest*. Oxford University Press, Inc., New York, USA.
- Angold, P. G., J. P. Sadler, M. O. Hill, A. Pullin, S. Rushton, S. Rushton, E. Small, B. Wood, R. Wadsworth, R. Sanderson y K. Thompson. 2006. Biodiversity in urban habitat patches. *Science of the Total Environment*, 360: 196-204.
- Aranda, J. M. S. 2012. *Manual para el rastreo de mamíferos silvestres de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México, D.F., México. 255 pp.
- Bearhop, S., C. E. Adams, S. Waldron, R. A. Fuller y H. Macleod. 2004. Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. *Journal of Animal Ecology*, 73: 1007-1012.
- Bearhop, S., R. W. Furness, G. M. Hilton, S. C. Votier y S. Waldron. 2003. A forensic approach to understanding diet and habitat use from stable isotope analysis of (avian) claw material. *Functional Ecology*, 17: 270-275.
- Bearhop, S., D. R. Thompson, S. Waldron, I. C. Russell, G. Alexander y R. W. Furness. 1999. Stable isotopes indicate the extent of freshwater feeding by cormorants *Phalacrocorax carbo* at inland fisheries in England. *Journal of Applied Ecology*, 36: 75-84.
- Bearhop, S., S. Waldron, S. C. Votier, y R. W. Furness. 2002. Factors that influence assimilation rates and fractionation of nitrogen and carbon stable isotopes in avian blood and feathers. *Physiological and Biochemical Zoology*, 75: 451-458.
- Bellard, C., P. Cassey y T. M. Blackburn. 2016. Alien species as a driver of recent extinctions. *Biology Letters*, 12(2): 20150623.



- 
- Berger, K. M., E. M. Gese y J. Berger. 2008. Indirect effects and traditional trophic cascades: a test involving wolves, coyotes and pronghorn. *Ecology*, 89: 818-828.
- Boitani, L. 2001. Carnivore introductions and invasions: their success and management options. Pp. 123–144, en: Gittleman J. L., S. M. Funk, D. W. Macdonald y R. K. Wayne (eds.). *Carnivore Conservation*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Bol, R. y C. Pflieger. 2002. Stable isotope ( $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$  and  $^{34}\text{S}$ ) analysis of the hair of modern humans and their domestic animals. *Rapid Commun Mass Spectrom*. 16(23): 2195–2200.
- Boutton, T. W. 1991. Stable carbon isotopes ratios of natural materials II: atmospheric, terrestrial, marine and freshwater environments. Pp. 173-186, en: Coleman, D. C. y B. Fry (eds.). *Carbon isotope techniques*. Academic Press, USA.
- Cano-Santana, Z., I. Pisanty, S. Segura, P. Mendoza-Hernández, R. Leónrico, J. Soberón, E. Tovar, E. Martínez-Romero, L. Ruiz y A. Martínez-Ballesté. 2006. Ecología, conservación restauración y manejo de las áreas naturales y protegidas del pedregal del Xitle. Pp. 203 -226, en: Oyama, K. y A. Castillo (eds.). *Manejo, Conservación y Restauración de Recursos Naturales en México*. Siglo XXI y Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cantú-Salazar, L., M. G. Hidalgo-Mihart, C. López-González y A. González-Romero. 2005. Diet and food resource use by the pygmy skunk (*Spilogale pygmaea*) in the tropical dry forest of Chamela, Mexico. *Journal of Zoology*, 267: 283–289.
- Carlsson, N. O., O. Sarnelle y D. I. Strayer .2009. Native predators and exotic prey -an acquired taste? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7: 525-532.
- Carrillo-Trueba, C. 1995. *El Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- 
- Castellanos, G. 2006. *Sobre el ámbito hogareño y los hábitos alimentarios de un carnívoro en un ambiente suburbano. El Cacomixtle (Bassariscus astutus) en la reserva ecológica "El Pedregal de San Ángel". Ciudad Universitaria. México, D. F.* Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Castellanos, G., N. García, y R. List. 2008. Uso de recursos del cacomixtle *Bassariscus astutus* y la zorra gris *Urocyon cinereoargenteus* en una Reserva Urbana de la Ciudad de México. Pp. 377-390, en: Lorenzo C., E. Espinoza y J. Ortega (eds.). *Avances en el estudio de los mamíferos II. Asociación Mexicana de Mastozoología*. El Colegio de la Frontera Sur, México.
- Castellanos-Vargas, I., N. E. García-Calderón y Z. Cano-Santana. 2017. Procesos físicos del suelo en la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria: atributos para su conservación. *Terra Latinoamericana*, 35: 51-64.
- Caut, S., E. Angulo y F. Courchamp. 2009. Variation in discrimination factors ( $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$ ): the effect of diet isotopic values and applications for diet reconstruction. *Journal of Applied Ecology*, 46: 443-453.
- Ceballos, G. y C. Galindo. 1984. *Mamíferos silvestre de la cuenca de México*. Edit. Limusa, México.
- Ceballos, G. y G. Oliva. 2005. *Los mamíferos silvestres de México*. Fondo de Cultura Económica-CONABIO, México.
- Chávez-García, L. 2016. *Estudio de la diversidad de los macromicetos del "Bosque de Tlalpan" D.F., México*. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Chen, G., Z. Wu, B. Gu, D. Liu, X. Li y Y. Wang. 2010. Isotopic niche overlap of two planktivorous fish in southern China. *Limnology*, 12(2): 151-155.
- Christiansen, P. 2006. *The Encyclopedia of Animals*. London: International Masters Publishers.

- 
- Crawford, K., R. A. McDonald y S. Bearhop. 2008. Applications of stable isotope techniques to the ecology of mammals. *Mammal Review*, 38: 87–107.
- Croll, D. A., J. L. Maron, J. A. Estes, E. M. Danner y G. V. Byrd. 2005. Introduced predators transform subarctic islands from grassland to tundra. *Science*, 307: 1959-1961.
- Crooks, K. R. y M. E. Soulé, 1999. Mesopredator release and avifaunal extinctions in a fragmented system. *Nature*, 400: 563-566.
- Crooks, K. R. 2002. Relative sensitivities of mammalian carnivores to habitat fragmentation. *Conservation Biology*, 16: 488-502.
- Cruz-Reyes, A. 2009. Fauna feral, fauna nociva y zoonosis. Pp. 455-463, en: Lot, A. y Z. Cano-Santana (eds.). *Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cullen, T. M., F. J. Longstaffe, U. G. Wortmann, M. B. Goodwin, L. Huang y D. C. Evans. 2019. Stable isotopic characterization of a coastal floodplain forest community: a case study for isotopic reconstruction of Mesozoic vertebrate assemblages. *Royal Society Open Science*, 6: 181-210.
- Czech, B., P. R. Krausman y P. K. Devers. 2000. Economic associations among causes of species endangerment in the United States. *BioScience*, 50: 593–601.
- Davis, N. E., D. M. Forsyth y G. Coulson. 2010. Facilitative interactions between an exotic mammal and native and exotic plants: hog deer (*Axis porcinus*) as seed dispersers in southeastern Australia. *Biological Invasions*, 12: 1079-1092.
- Davis, W. y D. Schmidly. 1994. *The Mammals of Texas*. Austin: Texas Parks and Wildlife Press, USA.
- DeNiro, M. J., y S. Epstein. 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 42: 495-506.

- 
- DeNiro, M. J., y S. Epstein. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 45: 341-351.
- DeVaulta, T. L., Z. H. Olsonb, J. C. Beasleyb y O. E. Rhodes. 2011. Mesopredators dominate competition for carrion in an agricultural landscape. *Basic and Applied Ecology*, 12: 268–274.
- Doherty, T. S., R. A. Davis, E. J. B. van Etten, D. Algar, N. Collier, C. R. Dickman, G. Edwards, P. Masters, R. Palmer y S. Robinson. 2015. A continental-scale analysis of feral cat diet in Australia. *Journal of Biogeography*, 42(5): 964–975.
- Doherty, T. S., C. R. Dickman, C. N. Johnson, S. M. Legge, E. G. Ritchie y J. C. Z. Woinarski. 2017. Impacts and management of feral cats *Felis catus* in Australia. *Mammal Review*, 47(2): 83–97.
- Doherty, T. S., A. S. Glen, D. G. Nimmo, E. G. Ritchie y C. R. Dickman. 2016. Invasive predators and global biodiversity loss. *Proceedings of the National Academy of Sciences*; 113(40): 11261–5.
- Dragoo, J. W., 2009. Family Mephitidae (skunks). Pp. 532–562, en: Wilson, D. E. y R. A. Mittermeier (eds.). *Handbook of the Mammals of the World. vol. 1.* Lynx Editions, Barcelona.
- Eguiarte, L. y A. Búrquez. 1987. Reproductive ecology of *Manfreda brachystachya*, an iteroparous species of Agavaceae. *The Southwestern Naturalist*, 32(2): 169-178.
- Ehleringer, J. R. 1991. 13C/12C fractionation and its utility in terrestrial plant studies. Pp. 187-201, . en: Coleman, D. C. y B. Fry (eds.). *Carbon isotopes techniques*, Academic Press, USA.
- Emmons, L. H. y F. Feer. 1997. *Neotropical Rainforest Mammals, a field guide*. 2da. ed., Chicago: The University of Chicago Press, USA.
- Estañol-Tecuatl, F. y Z. Cano-Santana. 2017. Recovery of basalt substrate for xeric scrub restoration in a lava field in Mexico City. *Ecological Restoration*, 35:41-51.
- Fritzell, E. K. y K. J. Haroldson. 1982. *Urocyon cinereoargenteus*. *Mammalian Species*, 189: 1-8.
- Fry, B. 2006. *Stable isotope ecology*. Springer Publishers, New York, New York, USA.

- 
- Galetti, M., R. R. Rodarte, C. L. Neves, M. Moreira y R. Costa-Pereira. 2016. Trophic niche differentiation in rodents and marsupials revealed by stable isotopes. *PLoS One*, 11(4): e0152494.
- Galetti, M., y I. Sazima. 2006. Impact of feral dogs in an urban Atlantic forest fragment in southeastern Brazil. *Natureza & Conservação*, 4(1): 146- 151.
- García, M. N. 2007. *Sobre el ámbito hogareño y los hábitos alimentarios de un carnívoro en un ambiente suburbano. La zorra gris (Urocyon cinereoargenteus) en la reserva ecológica "El Pedregal de San Ángel"*. Ciudad Universitaria, México, D. F. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Gestal-Freire, N. 2016. *Utilización del estudio de isótopos estables de C y N en heces de mamíferos en condiciones controladas para la determinación de dieta en animales silvestres*. Trabajo de fin de grado. Universidad de Coruña, España.
- 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 en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Glebskiy, Y. 2019. *Efecto del conejo castellano (Sylvilagus floridanus) sobre la comunidad vegetal del Pedregal de San Ángel*. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Glen, A. S. y C. R. Dickman. 2005. Complex interactions among mammalian carnivores in Australia, and their implications for wildlife management. *Biological Reviews*, 80: 387–401.
- GODF, Gaceta Oficial de Distrito Federal. 2011. Acuerdo por el cual se expide el programa de manejo del Área Natural Protegido "Bosque de Tlalpan". No.1120.

- 
- González-Saldivar, F. N. 1982. *Estudio Preliminar sobre el Cacomixtle Bassariscus astutus flavus RHOADS (1984), en el Municipio de Agualeguas, Nuevo León, México*. Tesis de Licenciatura, F. Ciencias Biológica, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Granados, Y. 2008. *Ecología de mamíferos silvestres y ferales de la Reserva Ecológica "El Pedregal": hacia una propuesta de manejo*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Harvey, J. A. y T. M. Fortuna. 2012. Chemical and structural effects of invasive plants on herbivore–parasitoid/predator interactions in native communities. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 144: 14-26.
- Herrera, L. G., K. Hobson, N. Ramírez, G. Méndez y V. Sánchez-Cordero. 2001. Sources of protein in two species of phytophagous bats in seasonal dry forest: Evidence from stable isotope analysis. *Journal of Mammalogy*, 82(2): 352-361.
- Hobson, K. A. 2008. Applying isotopic methods to tracking animal movements. In: Hobson KA, Wassenaar LI, eds. *Tracking animal migration with stable isotopes*. Amsterdam: Elsevier.
- Hobson, K. A., D. M. Schell, D. Renouf y E. Noseworthy. 1996. Stable carbon and nitrogen isotopic fractionation between diet and tissues of captive seals: implications for dietary reconstructions involving marine mammals. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53: 528–533.
- Hooper, D. U., F. S. Chapin, J. J. Ewel, A. Hector y P. Inchausti. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75: 3–35.

- 
- Hopcraft, J. G. C., H. Olff y A. R. E. Sinclair .2009. Herbivores, resources and risks: alternating regulation along primary environmental gradients in savannas. *Trends in Ecology y Evolution*, 25: 119-128.
- Hortelano-Moncada, Y., F. A. Cervantes y A. Trejo-Ortiz. 2009. Mamíferos silvestres de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel en Ciudad Universitaria, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80: 507- 520.
- Hortelano-Moncada, Y., F. A. Cervantes, y R. Rojas-Villaseñor. 2016. Riqueza y conservación de los mamíferos silvestres de la Ciudad de México, México. Pp. 179-220, en: Briones-Salas, M., Y. Hortelano-Moncada, G. Magaña-Cota, G. Sánchez-Rojas, y J. E. Sosa-Escalante (eds.). *Riqueza y Conservación de los Mamíferos en México a Nivel Estatal (Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Asociación Mexicana de Mastozoología A. C. y Universidad de Guanajuato, Ciudad de México. México.*
- Hutchinson, G. E. 1978. An introduction to population biology. New Haven, CT: Yale University Press.
- Inger, R., S. Bearhop, J. A. Robinson y G. Ruxton. 2006. Prey choice affects the trade off balance in an avian herbivore. *Animal Behaviour*, 71: 1335–1341.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 1999. Anuario estadístico del Distrito Federal. México, D. F. 25 p.
- Iriarte, J. A., G. A. Lobos y F. M. Jaksic. 2005. Invasive vertebrate species in Chile and their control and monitoring by governmental agencies. *Revista Chilena de Historia Natural*, 78: 143-154.
- Jackson, A. L., R. Inger, A. C. Parnell y S. Bearhop. 2011. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER–Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. *Journal of Animal Ecology*, 80(3): 595–602.

- 
- Jahren A. H. y R. A. Kraft. 2008. Carbon and nitrogen stable isotopes in fast food: signatures of corn and confinement. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105: 17 855–17 860.
- Johnson, C. N., J. L. Isaac y D. O. Fischer. 2007. Rarity of a top predator triggers continent-wide collapse of mammal prey: dingoes and marsupials in Australia. *Proceedings of the Royal Society, B* 274: 341-346.
- Karamanos, R. E., Rennie, D. A. 1980. Changes in natural  $^{15}\text{N}$  abundance associated with pedogenic processes in soil. II. Changes on different slope positions. *Canadian Journal of Soil Science*, 60: 365–372.
- Karamanos, R. E., R. P. Voroney y D. A. Rennie. 1981. Variation in natural N-15 abundance of central Saskatchewan soils. *Soil Science Society of America Journal*, 45, 826–828.
- Kelly, J. F. 2000. Stable isotopes of carbon and nitrogen in the study of avian and mammalian trophic ecology. *Canadian Journal of Zoology*, 78: 1-27.
- Krause, W. J. y W. A. Krause. 2006. *The opossum: it's amazing story*. Department of Pathology and Anatomical Sciences, School of Medicine. University of Missouri, USA.
- Landeta-Solis, L. J. 2019. Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria, UNAM. Trabajo de servicio social. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.
- Lapiedra, O., D. Sol, A. Traveset y M. Vilà. 2015. Random processes and phylogenetic loss caused by plant invasions. *Global Ecology and Biogeography*, 24: 774-785.
- Lattanzio, M. y D. Miles. 2016. Stable carbon and nitrogen isotope discrimination and turnover in a small-bodied insectivorous lizard. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 52(6): 673-81.



- 
- Layman, A., D. Arrington, C. Montaña y D. Post. 2007. Can stable isotope ratios provide for community wide measures of trophic structure? *Ecology*, 88: 42-48.
- Lecomte, N, Ø. Ahlstrøm, D. Ehrich, E. Fuglei, R. A. Ims y N. G. Yoccoz. 2011. Intrapopulation Variability Shaping Isotope Discrimination and Turnover: Experimental Evidence in Arctic Foxes. *PLoS ONE*, 6(6): e21357.
- López, P. 2017. Reaparece la zorra gris en la reserva del Pedregal, tras 13 años. *Gaceta. UNAM* 4889, 9.
- López-Gómez, V. 2010. *Efecto del tamaño del hábitat sobre la diversidad y la longitud de la cadena trófica de la comunidad de invertebrados asociados a Muhlenbergia robusta (Gramineae) en la reserva del Pedregal de San 'Ángel, D.F. (México)*. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Lot, A. y P. Camarena. 2009. El Pedregal de San Ángel de la ciudad de México: Reserva ecológica urbana de la Universidad Nacional. Pp. 19-25, en: Lot, A. y Z. Cano-Santana (eds.). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y Coordinación de la Investigación Científica, México.
- Lot, A., M. Pérez-Escobedo, G. Gil-Alarcón, S. Rodríguez y P. Camarena. 2012. *La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: Atlas de riesgos*. México: ICyTDF, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, México.
- Macavoy, S. E., S. A. Macko y L. S. Arneson. 2005. Growth versus metabolic tissue replacement in mouse tissues determined by stable carbon and nitrogen isotope analysis. *Canadian Journal of Zoology*, 83: 631-641.
- Macavoy, S. E., S. A. Macko y E. Bassett. 2006. Correlation of metabolism with tissue carbon and nitrogen turnover rate in small mammals. *Oecologia*, 150: 190-201.

- 
- Macdonald, D. W. y M. D. Thom. 2001. Alien carnivores: unwelcome experiments in ecological theory. Pp. 358-372, en: Gittleman J. L., S. M. Funk, D. W. Macdonald y R. K. Wayne (eds.). *Carnivore Conservation*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Martínez del Rio, C., N. Wolf, S. A. Carleton y L. Z. Gannes. 2009. Isotopic ecology ten years after a call for more laboratory experiments. *Biological Reviews*, 84: 91–111.
- McCullagh, J. S. O., J. A. Tripp y R. E. M. Hedges. 2005. Carbon isotope analysis of bulk keratin and single amino acids from British and North American hair. *Rapid Commun Mass Spectrom*, 19: 3227–3231.
- McKinney, M. L. 2008. Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Article in Urban Ecosystems*, 11: 161-176.
- McRuer, D. y K. Jones. 2009. Behavioral and nutritional aspects of the Virginia opossum (*Didelphis virginiana*). *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*, 12(2): 217-236.
- Milakovic, B. y K. L. Parker. 2011. Using stable isotopes to define diets of wolves in northern British Columbia, Canada. *Journal of Mammalogy*, 92: 295–304.
- Miller, J. F., J. S. Millar y F. J. Longstaffe. 2008. Carbon and nitrogen-isotope tissue–diet discrimination and turnover rates in deer mice, *Peromyscus maniculatus*. *Canadian Journal of Zoology*, 86: 685–691.
- Minagawa, M. y E. Wada. 1984. Stepwise enrichment of n-15 along food-chains - further evidence and the relation between  $\delta^{15}\text{N}$  and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48: 1135-1140.
- Mitchell, B. y P. B. Banks. 2005. Do wild dogs exclude foxes? Evidence for competition from dietary and spatial overlap in the Greater Blue Mountains region of New South Wales. *Austral Ecology*, 30: 582–591.

- 
- Moore, J. W. y B. X. Semmens. 2008. Incorporating uncertainty and prior information into stable isotope mixing models. *Ecology Letters*, 11: 470–480.
- Mori, E., M. Menchetti, A. Camporesi, L. Caviglioli, K. Tabarelli de Fatis y M. Girardello. 2019. License to Kill? Domestic Cats Affect a Wide Range of Native Fauna in a Highly Biodiverse Mediterranean Country. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7: 477.
- Marrant, D. S., C. Wurster, C. N. Johnson, J. R. A. Butler y B. C. Congdon. 2017. Prey use by dingoes in a contested landscape: Ecosystem service provider or biodiversity threat? *Ecology and Evolution*, 7: 8927–8935.
- Moseby, K. E., D. E. Peacock y J. L. Read. 2015. Catastrophic cat predation: a call for predator profiling in wildlife protection programs. *Biological Conservation*, 191: 331–340.
- Nájera, E. 2015. Aplicaciones del análisis de isótopos estables para el manejo y conservación de fauna silvestre. Pp. 87-100, en: Gallina, S. (ed.). *Manual de técnicas del estudio de la fauna*. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México.
- Negrete, Y. A. y J. Soberón. 1994. Los mamíferos silvestres de la Reserva Ecológica El Pedregal de San Ángel. Pp. 219-228, en: Rojo, A. (ed.). *Reserva Ecológica "El Pedregal de San Ángel". Ecología, Historia Natural y Manejo*, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Neville, L. E. y S. Murphy. 2001. Invasive alien species: Forging cooperation to address a borderless issue. *International Association for Ecology (INTECOL)*, Newsletter Spring/Summer 2001: 3-7.
- Newsome, S. D., C. M. Del Rio, S. Bearhop, y D. L. Phillips. 2007. A Niche for isotopic ecology. *frontiers in ecology and the environment. Ecological Society of America, Ithaca, Ny*, 5(8): 429-436.
- Newsome, S. D., H. M. Garbe, E. C. Wilson y S. D. Gehrt. 2014. Individual variation in anthropogenic resource use in an urban carnivore. *Oecologia*, 178: 115–128.

- 
- Newsome, S. D., K. Ralls, C. Van Horn Job, M. L. Fogel, y B. L. Cypher. 2015. Stable isotopes evaluate exploitation of anthropogenic foods by the endangered San Joaquin kit fox (*Vulpes macrotis mutica*). *Journal of Mammalogy*, 91(6): 1313–1321.
- Nowak, R. 1991. *Walker's Mammals of the World*. 5ta. ed., Baltimore: Johns Hopkins University Press, USA.
- Nuñez M. A., M. A. Relva y D. Simberloff. 2008. Enemy release or invasional meltdown? Deer preference for exotic and native trees on Isla Victoria, Argentina. *Austral Ecology*, 33: 317-323.
- O'Leary, M. H. 1981. Carbon isotope fractionation in plant. *Phytochemistry*, 20: 553-567.
- Ostrom, N. E., L. O. Hedin, J. C. von Fischer, y G. P. Robertson. 2002. Nitrogen transformations and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> removal at a soil–stream interface: A stable isotope approach. *Ecological Applications*, 12: 1027–1043.
- PAOT, Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. 2009. Estudio sobre la superficie ocupada en Áreas Naturales Protegidas del Distrito Federal. Gobierno del Distrito Federal.
- Peralta, A. y J. Prado. 2009. Los límites y la cartografía. Pp. 27-42, en: Lot, A. y Z. Cano-Santana (eds.). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y Coordinación de la Investigación Científica, México.
- Phillips, D. y P. Eldridge. 2006. Estimating the timing of diet shifts using stable isotopes. *Oecologia*, 147: 195–203.
- Pletscher, D. H., F. H. Bormann y R. S. Miller. 1989. Importance of deer compared to other vertebrates in nutrient cycling and energy flow in a northern hardwood ecosystem. *The American Midland Naturalist*, 121(2): 0302-311.

- 
- Post, D. M. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*, 83: 703–718.
- Quiroz, C. I., A. Pauchard, L. A. Cavieres y C. B. Anderson. 2009. Análisis cuantitativo de la investigación en invasiones biológicas en Chile: tendencias y desafíos. *Revista Chilena de Historia Natural* 82: 497-505.
- R Core Team, 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ramírez-Cruz, G. A., P. E. Mendoza-Hernández, I. Solano-Zavaleta y J. J. Zúñiga-Vega. 2017. How Widespread are Nonnative Species? Estimating Habitat Occupancy in an Ecological Reserve within a Megacity. *Natural Areas Journal*, 38(1): 68-87.
- Ramírez-Velázquez, K. X. 2017. *Caso clínico: Monitoreo y captura de perros ferales en la Zona Núcleo Sur Oriente de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel*. Trabajo Profesional para optar por el grado de Médico Veterinario Zootecnista. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- 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 en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Reid, F. 1997. *A Field Guide to the Mammals of Central America and Southeast Mexico*. Oxford University Press, Inc. New York.
- Reid, F. 2006. *Mammals of North America*. 4ta. ed., Houghton Mifflin, USA.
- Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. 2006. *Reglamento Interno*. Secretaría Ejecutiva, Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- 
- Ricklefs, R. E. y G. L. Miller. 2000. *Ecology*. (4° ed.). Freeman and Company, New York.
- Rojo, A. y J. Rodríguez. 2002. *La flora del Pedregal de San Ángel*. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT, México.
- Roth J. D. y K. A. Hobson. 2000. Stable carbon and nitrogen isotopic fractionation between diet and tissue of captive red fox: Implications for dietary reconstruction. *Canadian Journal of Zoology*, 78: 848-852.
- Roth, J. D., y K. A. Hobs. 2000. Stable carbon and nitrogen isotopic fractionation between diet and tissue of captive red fox: implications for dietary reconstruction. *Canadian Journal of Zoology*, 78: 848–852.
- Rzedowski, J. 1954. Vegetación del Pedregal de San Ángel. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 8(1-2): 59-129.
- Sare, D. T. J., J. S. Millar y F. J. Longstaffe. 2005. Tracing dietary protein in red-backed voles (*Clethrionomys gapperi*) using stable isotopes of nitrogen and carbon. *Canadian Journal of Zoology*, 83: 717–725.
- Siebe, C. 2000. Age and archaeological implications of Xitle volcano, Southwestern Basin of Mexico-City. *Journal of Vulcanology and Geothermal Reserch*, 104: 45-64.
- Siebe, C. 2009. La erupción del volcán Xitle y las lavas del Pedregal hace 1670 +/-35 años AP y sus implicaciones. Pp. 41-49, en: Lot, A. y Z. Cano-Santana (eds.). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y Coordinación de la Investigación Científica, México.
- Simberloff, D., J. L. Martin, P. Genovesi, V. Maris, D. A. Wardle, J. Aronson, F. Courchamp, B. Galil, E. Garcia-Berthou, M. Pascal, P. Pysêk, R. Sousa, E. Tabacchi y M. Vilà. 2013. Impacts of

---

biological invasions: What's what and the way forward. *Trends in Ecology & Evolution*, 28: 58-66.

Sousa, R., P. Morais, E. Dias y C. Antunes. 2011. Biological invasions and ecosystem functioning: *Time to merge*. *Biological Invasions*, 13: 1055-1058.

Sponheimer, M., T. Robinson, L. Ayliffe, B. Roeder, J. Hammer, B. Passey, A. West, T. Cerling, D. Dearing y J. Ehleringer. 2003a. Nitrogen Isotopes in Mammalian herbivores: Hair  $\delta^{15}\text{N}$  Values from a controlled feeding study. *International Journal of Osteoarchaeology*, 13: 80-87.

Sponheimer, M., T. Robinson, L. Ayliffe, B. Passey, B. Roeder, L. Shipley, E. López, T. Cerling, D. Dearing y J. Ehleringer. 2003b. An experimental study of carbon-isotope fractionation between diet, hair, and feces of mammalian herbivores. *Canadian Journal of Zoology- Revue Canadienne De Zoologie*, 81: 871-876.

Stock, B. C. y B. X. Semmens. 2013. MixSIAR GUI user manual: version 1.0. En: <http://conserver.iugocafe.org/user/brice.semmens/MixSIAR>.

Strauss, S. Y., J. A. Lau y S. P. Carroll. 2006. Evolutionary responses of natives to introduced species: What do introductions tell us about natural communities? *Ecology Letters*, 9: 357-374.

Sutherland, R. A., C. R. A. van Kessel y D. J. Pennock. 1991. Spatial variability of nitrogen-15 natural abundance. *Soil Science Society of America Journal*, 55: 1339-1347.

Tapia-Ramírez, G., C. López-González, A. González-Romero y S. F. Hernández-Betancourt. 2012. Diversidad de roedores y su relación con la heterogeneidad ambiental en la cuenca del río Nazas, Durango, México. Pp. 59-70, en: Cervantes, F. A. y C. Ballesteros-Barrera (eds.). *Estudios sobre la Biología de Roedores Silvestres Mexicanos*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- 
- Templer, P. H., M. C. Mack, F. S. Chapin, L. M. Christenson, J. E. Compton, H. D. Crook, W. S. Currie, C. J. Curtis, D. B. Dail, C. M. D'Antonio, B. A. Emmett, H. E. Epstein, C. L. Goodale, P. Gundersen, S. E. Hobbie, K. Holland, D. U. Hooper, B. A. Hungate, S. Lamontagne, K. J. Nadelhoffer, C. W. Osenberg, S. S. Perakis, P. Schleppi, J. Schimel, I. K. Schmidt, M. Sommerkorn, J. Spoelstra, A. Tietema, W. W. Wessel y D. R. Zak. 2012. Sinks for nitrogen inputs in terrestrial ecosystems: a meta-analysis of  $^{15}\text{N}$  tracer field studies. *Ecology*, 93: 1816– 1829.
- Thomsen, M.S., J.D. Olden, T. Wernberg, J. N. Griffin y B. R. Silliman. 2011. A broad framework to organize and compare ecological invasion impacts. *Environmental Research*, 111: 899-908.
- Tieszen, L. L., y T. W. Boutton. 1989. Stable carbon isotopes in terrestrial ecosystem research. In *Stable isotopes in ecological research*. Edited by P.W. Rundel, J.R. Ehleringer, and K.A. Nagy. Springer-Verlag, Berlin.
- Tieszen, L. L. 1991. Natural variations in the carbon isotope values of plants: Implications for archeology and paleoecology. *Journal of Archaeological Science*, 18: 227-248.
- Tompkins, D. M., A. R. White y M. Boots. 2003. Ecological replacement of native red squirrels by invasive greys driven by disease. *Ecology Letters*, 6: 189-196.
- Valiente-Banuet, A. y E. De Luna. 1990. Una lista florística actualizada para la Reserva del Pedregal de San Ángel, México D.F. *Acta Botánica*, 9: 13-30.
- Van der Merwe, N. J. 1989. Natural variation in  $^{13}\text{C}$  concentration and its effect on environmental reconstruction using  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios in animal bones. Pp. 105-125, en: Price T. H. (ed). *The Chemistry of Prehistoric Human Bone*. Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra.



- 
- Vander-Zanden, M. J., J. D. Olden y C. Gratton. 2006. Food-web approaches in restoration ecology. Pp. 165–189, en: Falk, D. A., M. A. Palmer y J. B. Zedler (eds.). *Foundations of Restoration Ecology*. Island Press, USA.
- Vander-Zanden M. J. y J. B. Rasmussen. 1999. Primary consumer  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  and the trophic position of aquatic consumers. *Ecology*, 80: 1395–1404.
- Villalobos, A., A. Buenrostro-Silva y G. Sánchez-de la Vega. 2014. Dieta de la zorra gris *Urocyon cinereoargenteus* y su contribución a la dispersión de semillas en la costa de Oaxaca, México. *Therya*, 5(1): 355-363.
- Villatoro, F. J., L. Naughton-Treves, M. A. Sepúlveda, P. Stowhas, F. O. Mardones y E. A. Silva-Rodríguez, 2019. When free-ranging dogs threaten wildlife: Public attitudes toward management strategies in southern Chile. *Journal of Environmental Management*, 229: 67-75
- Wada, E., H. Mizutani y M. Minagawa. 1991. The use of stable isotopes for food web analysis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 30: 361–371.
- Wardle, D. A., P. J. Bellingham, T. Fukami y C. P. H. Mulder .2007. Promotion of ecosystem carbon sequestration by invasive predators. *Biology Letters*, 3: 479-82.
- Warsen S. A., J. L. Frair y M. A. Teece. 2014. Isotopic investigation of niche partitioning among native carnivores and the non-native coyote (*Canis latrans*). *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 50(3): 414-24.
- Woodroffe, R., y J. R. Ginsberg. 1998. Edge effects and the extinction of populations inside protected areas. *Science*, 280(5372): 2126–2128.

- 
- Wurster, C. M., J. Robertson, D. A. Westcott, B. Dryden, A. Zazzo y M. I. Bird. 2012. Utilization of sugarcane habitat by feral pig (*Sus scrofa*) in northern tropical Queensland: Evidence from the stable isotope composition of hair. *PLoS One*, 7: e43538.
- Zambrano, L., Z. Cano-Santana, A. Wegier, D. Arroyo-Lambaer, J. J. Zúñiga-Vega, A. Suárez, C. R. Bouchain, F. Gual-Sill, J. Campo, P. Ortega-Larrocea, A. Fonseca, A. G. Ramos, H. Coronel-Arellano, M. Bonilla-Rodríguez, A. Castillo, M. Negrete-González, G. A. Ramírez-Cruz, L. Pérez-López y B. González Calderón. 2019. Evaluating Socio-Ecological Interactions for the Management of Protected Urban Green Spaces. *Frontiers of Environmental Science*, 7: 144.
- Zambrano, L. Rodríguez, P. S. Pérez, E. M., Gil, A. G., Camarena, P. y A. Lot. 2016. La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: Atlas de Riesgos. Edición 2016. Secretaría Ejecutiva REPSA. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Zambrano, L., E. Valiente y M. J. Vander-Zanden. 2010. Food web overlap among native axolots (*Ambystoma mexicanum*) and two exotic fishes: carp (*Cyprinus carpio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Xochimilco, Mexico City. *Biological Invasions*, 12: 3061–69.

## ANEXO A

Anexo A-1. Valores de TDF utilizados en el análisis de mezclas por cada especie y por cada tejido.

Especie de consumidor	Tejido	Valor TDF utilizado para $\delta^{13}\text{C}$ ( $\Delta\text{‰}$ )	Valor TDF utilizado para $\delta^{15}\text{N}$ ( $\Delta\text{‰}$ )	Referencia bibliográfica
<i>Didelphis virginiana</i>	Pelo	2.43	3.27	Cullen <i>et al.</i> , 2019
<i>Bassariscus astutus</i>	Pelo	2.43	3.27	Cullen <i>et al.</i> , 2019
<i>Felis catus</i>	Pelo	2.43	3.27	Cullen <i>et al.</i> , 2019
<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	Pelo	2.43	3.27	Cullen <i>et al.</i> , 2019
<i>Canis lupus familiaris</i>	Pelo	2.43	3.27	Cullen <i>et al.</i> , 2019
<i>Mephitis macroura</i>	Pelo	2.43	3.27	Cullen <i>et al.</i> , 2019
<i>Spilogale putorius angustifrons</i>	Pelo	2.43	3.27	Cullen <i>et al.</i> , 2019
<i>Homo sapiens</i>	Pelo	2	3.5	Newsome <i>et al.</i> , 2015
<i>Sceloporus torquatus</i>	Músculo	1.2	0.7	Lattanzio y Miles, 2016
<i>Crotalus molossus</i>	Ecdisis/ Sangre	0.90	1.22	Cullen <i>et al.</i> , 2019
<i>Sylvilagus floridanus</i>	Pelo	3	2.4	Sponheimer <i>et al.</i> , 2003a; 2003b
<i>Scirius aureogaster</i>	Pelo	2.61	3.31	Cullen <i>et al.</i> , 2019
<i>Otospermophilus variegatus</i>	Pelo	2.61	3.31	Cullen <i>et al.</i> , 2019
<i>Mus musculus</i>	Pelo	0.40	1.52	DeNiro y Epstein 1978 (C), 1981 (N)
<i>Peromyscus gratus</i>	Pelo	0.30	3.30	Miller <i>et al.</i> , 2008
<i>Neotoma mexicana</i>	Pelo	4.54	2.94	Sare <i>et al.</i> , 2005
<i>Didelphis virginiana</i>	Sangre	0.5	2.6	Roth y Hobson, 2000
<i>Bassariscus astutus</i>	Sangre	0.5	2.6	Roth y. Hobson, 2000
<i>Felis catus</i>	Sangre	0.5	2.6	Roth y Hobson, 2000
<i>Canis lupus familiaris</i>	Sangre	0.5	2.6	Roth y Hobson, 2000
<i>Scirius aureogaster</i>	Sangre	0.5	2.6	Roth y Hobson, 2000

Anexo B-1. Características de los ejemplares de mamíferos medianos de los que fueron obtenidas las muestras para el análisis y sus valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  y de  $\delta^{15}\text{N}$  de los diferentes tejidos. En algunos casos se midieron los valores en diferentes secciones del pelo de un mismo individuo. (LT) Longitud total, (LC) longitud de la cola, (LPD) longitud de la pata derecha, (LOD) longitud de la oreja derecha. (A) Adulto, (J) juvenil, (S) Senil, (CNMA) Colección Nacional de Mamíferos, (MZFC) Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias de la UNAM, (SEREPSA) Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.

Especie	Sitio de captura	ID	Sexo	Edad	Fecha de captura	Método de obtención de la muestra	Peso (g)	LT (cm)	LC (cm)	LPD (cm)	LOD (cm)	Pelo		Sangre		Observaciones
												$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{15}\text{N}$ (Aire)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{15}\text{N}$ (Aire)	
Tlacuache ( <i>D. virginiana</i> )	REPSA	TL-1-CU	♂	A	26/02/2018	Tomahawk	1725	79.6	39	6.6	4.2	-18.86	5.73			
		TL-2-CU	♂	A	26/02/2018	Tomahawk	1425	71.3	30.8	5.5	3.2	-18.80	8.47			
		TL-3-CU	♀	A	21/06/2018	Tomahawk	1335	77	33	5.8	4.1	-20.18	7.21	-19.53	8.19	
		TL-4-CU	♀	A	28/06/2018	Tomahawk	1515	80.5	32.5	5.2	4.5	-21.62	8.34	-19.86	8.62	Con crías en el marsupio
		TL-5-CU	♂	A	28/06/2018	Tomahawk	2530	84.6	29.4	6.6	4.7	-23.46	7.54	-18.46	7.41	
		TL-6-CU	♂	A	28/06/2018	Tomahawk	925	84	31.5	5.4	4.9	-21.34	9.64	-18.67	7.94	
		TL-7-CU	♂	A	28/06/2018	Tomahawk	2850	89.9	35.7	5.8	5	-21.07	9.05	-19.47	8.16	
		TL-8-CU	♀	A	28/06/2018	Tomahawk	1000	82	33.3	6.4	NA	-23.47	5.13	-20.41	6.51	
		TL-9-CU	♂	S	28/06/2018	Tomahawk	NA	NA	NA	NA	NA	-19.42	9.71	-19.92	9.67	Individuo, muy viejo y delgado
		TL-10-CU	♀	A	24/08/2018	Tomahawk	1980	90.1	37.5	6.6	5			-19.45	7.20	Glándulas mamarias con bajada de leche
		TL-11-CU	♀	A	24/08/2018	Tomahawk	1565	77.3	33.6	6.6	4.9			-18.55	7.41	Glándulas mamarias con bajada de leche
		TL-12-CU	♀	A	25/08/2018	Tomahawk	1785	85.6	37.9	6.4	4.5			-18.99	5.96	
		TL-13-CU	♂	A	25/08/2018	Tomahawk	2250	88.1	33.6	6	5.4			-18.94	7.82	
		TL-14-CU	♀	J	25/08/2018	Tomahawk	465	52.7	22.2	4.1	4.5			-20.69	5.34	
	BT	TL-1-BT	NA	A	23/04/2018	Otro	NA	NA	NA	NA	NA	-18.93	7.23			Encontrado muerto
		TL-2-BT	♀	A	25/04/2018	Tomahawk	800	67.9	30	5	4	-21.99	1.66	-20.12	6.59	Con crías en el marsupio
		TL-3-BT	♀	A	25/04/2018	Tomahawk	1515	77.3	34.2	5.8	4.5	-20.11	6.31	-20.76	6.79	Con crías en el marsupio
		TL-4-BT	♀	A	26/04/2018	Tomahawk	2300	86.7	36	5.5	5	-19.99	6.69	-20.85	7.02	
		TL-5-BT	♂	A	26/04/2018	Tomahawk	1950	87.3	35	5.5	4.9	-19.24	7.26	-19.77	6.87	
		TL-6-BT	♂	A	26/04/2018	Tomahawk	1920	82.5	31.3	6	4.5	-20.38	5.10	-20.26	6.80	
		TL-7-BT	♂	A	27/04/2018	Tomahawk	NA	92	35.5	7.5	4.7	-20.04	8.06	-18.94	8.06	
		TL-8-BT	♂	A	27/04/2018	Tomahawk	1815	81.5	31	6	4	-18.99	7.51	-20.21	7.09	

## ANEXO B

Anexo B-2. Características de los ejemplares de mamíferos medianos de los que fueron obtenidas las muestras para el análisis y sus valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  y de  $\delta^{15}\text{N}$  de los diferentes tejidos. En algunos casos se midieron los valores en diferentes secciones del pelo de un mismo individuo. (LT) Longitud total, (LC) longitud de la cola, (LPD) longitud de la pata derecha, (LOD) longitud de la oreja derecha. (A) Adulto, (J) juvenil, (S) Senil, (CNMA) Colección Nacional de Mamíferos, (MZFC) Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias de la UNAM, (SEREPSA) Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.

Especie	Sitio de captura	ID	Sexo	Edad	Fecha de captura	Método de obtención de la muestra	Peso (g)	LT (cm)	LC (cm)	LPD (cm)	LOD (cm)	Pelo		Sangre		Observaciones
												$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{15}\text{N}$ (Aire)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{15}\text{N}$ (Aire)	
Tlacuache <i>D. virginiana</i>	BT	TL-9-BT	♀	S	03/05/2018	Otro	NA	NA	NA	NA	NA	-18.93	8.82			Encontrado en bote de basura, con una cría en el marsupio
		TL-10-BT	♀	A	04/09/2018	Tomahawk	2030	81	33.7	5.8	5.3			-20.78	5.23	Glándulas mamarias con bajada de leche
		TL-11-BT	♀	A	06/09/2018	Tomahawk	1560	79	31.8	5.9	4.6			-21.01	5.35	
		TL-12-BT	♀	A	06/09/2018	Tomahawk	2825	90.7	37.3	5.6	5.1			-22.03	4.64	Con crías en el marsupio
		TL-13-BT	♀	A	07/09/2018	Tomahawk	2300	81.2	35.3	5.4	4.8			-21.18	6.34	Con crías en el marsupio
		TL-14-BT	♀	A	12/09/2018	Tomahawk	2303	81.3	32.8	5.3	5			-21.25	5.42	Con crías en el marsupio
Cacomixtle <i>B. astutus</i>	REPSA	CA-1-CU	♂	A	18/04/2013	CNMA	1880	84.4	41	6.4	5.2	-15.89	8.11			
		CA-2-CU	♀	A	19/05/2014	CNMA	NA	NA	NA	NA	NA	-18.05	6.54			
		CA-3-CU	♂	A	26/02/2018	Tomahawk	1290	85	35.5	7.2	5.2	-17.68	7.51			
		CA-4-CU	♂	A	12/06/2018	Tomahawk	1400	80.4	34.9	8.5	5.7	-18.59	7.52			
		CA-5-CU	♂	A	20/06/2018	Tomahawk	1550	90.3	42.6	7.2	4.5	-16.62 -16.43	7.36 7.45	-18.43	7.92	
		CA-6-CU	♀	A	25/08/2018	Tomahawk	1350	77.6	34.5	8.3	4.8	-17.89	7.60	-20.20	5.30	Glándulas mamarias con bajada de leche
		CA-7-CU	♀	A	30/10/2018	Tomahawk	NA	NA	NA	NA	NA	-17.86	6.76	-19.21	6.17	Encontrado muerto
		CA-8-CU	NA	A	26/11/2018	Otro	NA	NA	NA	NA	NA	-17.44	6.78			
		CA-9-CU	♀	A	13/12/2018	Tomahawk	NA	NA	NA	NA	NA	-16.75	5.92	-18.88	6.42	
	CA-10-CU	♀	A	26/02/2019	Tomahawk	NA	NA	NA	NA	NA	-18.86	6.90	-17.26	6.02		
	BT	CA-1-BT	♂	A	27/04/2018	Tomahawk	1725	87	38.7	8.4	3.5	-17.44 -17.44	9.25 9.55	-16.89	8.36	
		CA-2-BT	♂	A	27/04/2018	Tomahawk	1655	NA	41	8	4.2	-21.20 -21.12	5.37 5.15	-21.09	5.70	
Gato feral <i>Felis catus</i>	REPSA	GT-1-CU	♀	A	22/03/2018	CNMA	2700	65	24	10.7	5.1	-19.05	7.69			

## ANEXO B

Anexo B-3. Características de los ejemplares de mamíferos medianos de los que fueron obtenidas las muestras para el análisis y sus valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  y de  $\delta^{15}\text{N}$  de los diferentes tejidos. En algunos casos se midieron los valores en diferentes secciones del pelo de un mismo individuo. (LT) Longitud total, (LC) longitud de la cola, (LPD) longitud de la pata derecha, (LOD) longitud de la oreja derecha. (A) Adulto, (J) juvenil, (S) Senil, (CNMA) Colección Nacional de Mamíferos, (MZFC) Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias de la UNAM, (SEREPSA) Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.

Especie	Sitio de captura	ID	Sexo	Edad	Fecha de captura	Método de obtención de la muestra	Peso (g)	LT (cm)	LC (cm)	LPD (cm)	LOD (cm)	Pelo		Sangre		Observaciones
												$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{15}\text{N}$ (Aire)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{15}\text{N}$ (Aire)	
Gato feral <i>Felis catus</i>	REPSA	GT-2-CU	♀	A	16/06/2005	CNMA	NA	NA	NA	NA	NA	-18.29	7.08			
		GT-3-CU	♂	A	17/10/2007	CNMA	4300	83	30	14.6	5.3	-15.77	6.89			
		GT-4-CU	♂	A	21/12/2017	CNMA	3640	87.1	32.1	15.8	6.5	-18.12	8.43			
		GT-5-CU	♂	A	21/12/2017	SEREPSA	NA	NA	NA	NA	NA			-20.27	8.09	
		GT-6-CU	♂	A	28/02/2018	Tomahawk	3950	82	28.6	12.7	5.8			-20.79	5.50	
		GT-7-CU	♀	A	29/08/2018	SEREPSA	NA	NA	NA	NA	NA			-18.00	6.64	
	BT	GT-1-BT	♀	A	25/04/2018	Tomahawk	2650	69.2	23.2	10.8	5.3	-18.86	6.60	-21.85	5.76	Preñada
		GT-2-BT	♀	A	27/04/2018	Tomahawk	3260	80.1	28	11.4	5.2	-16.57	5.66	-19.74	5.42	Preñada
Perro feral <i>C. lupus familiaris</i>	REPSA	PE-1-CU	♀	A	26/03/2018	SEREPSA	NA	NA	NA	NA	NA			-17.51	7.11	
		PE-2-CU	♂	A	26/03/2018	SEREPSA	NA	NA	NA	NA	NA			-17.76	6.72	
		PE-3-CU	NA	A	NA	CNMA	NA	NA	NA	NA	NA	-16.39	7.53			
Zorrillo encapuchado <i>M. macroura</i>	REPSA	ME-1-CU	♂	A	16/03/1979	CNMA	NA	51	26	4.1	1.4	-18.25	6.10			
		ME-2-CU	♀	A	25/07/1974	CNMA	NA	50	22.4	5.2	2.8	-17.74	7.74			
		ME-3-CU	♂	J	31/10/1974	CNMA	NA	54.8	25.5	5.7	2.6	-16.72	5.81			
Zorrillo manchado <i>S. putorius</i>	REPSA	MM-1-CU	NA	A	03/07/1947	CNMA	NA	NA	NA	NA	NA	-16.95	7.04			
		MM-2-CU	♂	A	06/06/2005	CNMA	250	38.6	24	10.7	5.1	-16.01	10.97			
		MM-3-CU	NA	A	03/07/2006	CNMA	NA	NA	13.1	NA	2.4	-18.59	6.09			
		MM-4-CU	♀	A	12/04/2009	CNMA	NA	NA	NA	NA	NA	-19.84	4.52			
		MM-5-CU	♀	A	12/04/2009	CNMA	230	40	18.3	2	4.1	-18.36	5.60			
		MM-6-CU	♂	A	15/02/2018	SEREPSA	NA	NA	NA	NA	NA			-17.24	4.64	
Zorra gris <i>U. cinereoargenteus</i>	REPSA	ZO-1-CU	♀	A	2007	MZFC	NA	NA	NA	NA	NA	-20.41	5.29			
Conejo castellano <i>Sylvilagus floridanus</i>	REPSA	CON-1-CU	NA	NA	03/03/2018	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-16.29	3.51			Colecta manual
		CON-1-CU	NA	NA	03/03/2018	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-17.13	3.63			Colecta manual
		CON-1-CU	NA	NA	04/03/2018	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-16.78	4.34			Colecta manual
		CON-1-CU	NA	NA	14/12/2018	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-18.88	3.94			Colecta manual
		CON-1-CU	NA	NA	21/08/2018	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-14.02	5.59			Colecta manual

Anexo C-1. Características de los ejemplares colectados como alimentos potenciales de los mamíferos medianos y sus valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  y de  $\delta^{15}\text{N}$ . (CNMA) Colección Nacional de Mamíferos, (MZFC) Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias de la UNAM, (SEREPSA) Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.

Categoría	Nombre común	Especie	Tejido	Sitio de colecta	Fecha de colecta	Método de obtención	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{15}\text{N}$ (Aire)
Mamíferos	Ratón piñonero (♂)	<i>Peromyscus gratus</i>	Pelo	REPSA	24/02/2018	Trampa Sherman	-22.74	6.02
	Ratón piñonero (♂)	<i>Peromyscus gratus</i>	Pelo	REPSA	25/02/2018	Trampa Sherman	-22.60	6.08
	Ratón piñonero (♂)	<i>Peromyscus gratus</i>	Pelo	REPSA	03/03/2018	Trampa Sherman	-22.31	4.74
	Ratón piñonero (♂)	<i>Peromyscus gratus</i>	Músculo	REPSA	25/02/2018	Trampa Sherman	-22.84	8.69
	Ratón piñonero (♂)	<i>Peromyscus gratus</i>	Pelo	REPSA	17/11/2018	Trampa Sherman	-21.56	3.58
	Ardilla gris	<i>Sciurus aureogaster</i>	Sangre	REPSA	2016	SEREPSA	-24.79	4.19
	Ardilla gris (♂)	<i>Sciurus aureogaster</i>	Pelo	REPSA	16/03/1999	CNMA	-23.25	8.91
	Ardilla gris (♀)	<i>Sciurus aureogaster</i>	Pelo	REPSA	02/04/2011	CNMA	-23.08	6.36
	Ardilla gris (♀)	<i>Sciurus aureogaster</i>	Pelo	REPSA	09/03/2011	CNMA	-22.70	6.36
	Ardilla gris (♀)	<i>Sciurus aureogaster</i>	Pelo	REPSA	15/02/2011	CNMA	-22.83	4.78
	Ardillón de roca	<i>Otospermophilus variegatus</i>	Pelo	REPSA	03/03/2018	Colecta manual	-24.77	7.47
	Ardillón de roca	<i>Otospermophilus variegatus</i>	Pelo	REPSA	21/08/2018	Colecta manual	-20.29	7.35
	Ardillón de roca (♀)	<i>Otospermophilus variegatus</i>	Pelo	REPSA	16/12/1974	CNMA	-22.42	3.37
	Ardillón de roca (♀)	<i>Otospermophilus variegatus</i>	Pelo	REPSA	03/10/1979	CNMA	-19.61	5.69
	Ardillón de roca (♂)	<i>Otospermophilus variegatus</i>	Pelo	REPSA	13/03/1990	CNMA	-22.83	3.86
	Rata de monte (♀)	<i>Neotoma mexicana torquata</i>	Pelo	REPSA	13/11/1961	CNMA	-22.07	7.72
	Rata de monte (♂)	<i>Neotoma mexicana torquata</i>	Pelo	REPSA	13/11/1961	CNMA	-24.87	7.21
	Rata de monte (♀)	<i>Neotoma mexicana torquata</i>	Pelo	REPSA	27/11/1989	CNMA	-24.70	1.78
	Rata de monte (♀)	<i>Neotoma mexicana torquata</i>	Pelo	REPSA	10/09/1989	CNMA	-23.26	2.00
	Rata de monte (♂)	<i>Neotoma mexicana torquata</i>	Pelo	REPSA	22/04/1989	CNMA	-21.02	2.19
Ratón doméstico	<i>Mus musculus</i>	Pelo	REPSA	10/11/2018	Trampa Sherman	-18.76	6.50	
Ratón doméstico	<i>Mus musculus</i>	Pelo	REPSA	04/05/2018	CNMA	-20.20	7.80	
Musaraña (♀)	<i>Sorex saussurei saussurei</i>	Pelo	REPSA	27/03/2018	CNMA	-23.05	3.57	
Musaraña (♀)	<i>Sorex saussurei saussurei</i>	Pelo	REPSA	01/10/1989	CNMA	-21.58	3.62	
Reptiles	Lagartija de collar	<i>Sceloporus torquatus</i>	Músculo	REPSA	07/12/2017	Colecta manual	-22.61	5.54
	Lagartija de collar	<i>Sceloporus torquatus</i>	Piel (ecdisis)	REPSA	12/06/2018	Colecta manual	-22.58	4.03
	Lagartija de collar	<i>Sceloporus torquatus</i>	Músculo	REPSA	07/12/2018	Colecta manual	-22.40	5.35
	Lagartija de collar	<i>Sceloporus torquatus</i>	Músculo	REPSA	08/12/2018	Colecta manual	-22.99	7.61
	Lagartija de collar	<i>Sceloporus torquatus</i>	Músculo	REPSA	02/12/2018	Colecta manual	-21.07	8.45
	Serpiente de cascabel	<i>Crotalus molossus</i>	Piel (ecdisis)	REPSA	21/08/2018	Colecta manual	-21.67	6.86
	Serpiente de cascabel	<i>Crotalus molossus</i>	Sangre	REPSA	2016	SEREPSA	-22.99	6.29
	Serpiente de cascabel	<i>Crotalus molossus</i>	Sangre	REPSA	2016	SEREPSA	-23.94	5.20
	Serpiente de cascabel	<i>Crotalus molossus</i>	Sangre	REPSA	2016	SEREPSA	-23.01	8.13

## ANEXO C

Anexo C-2. Características de los ejemplares colectados como alimentos potenciales de los mamíferos medianos y sus valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  y de  $\delta^{15}\text{N}$ . (CNMA) Colección Nacional de Mamíferos, (MZFC) Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias de la UNAM, (SEREPSA) Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.

Categoría	Nombre común	Especie	Tejido	Sitio de colecta	Fecha de colecta	Método de obtención	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{15}\text{N}$ (Aire)
Aves	NA	NA	Pluma	REPSA	03/03/2018	Colecta manual	-18.48	6.98
	NA	NA	Pluma	REPSA	03/03/2018	Colecta manual	-15.68	7.32
	NA	NA	Pluma	REPSA	022/03/2018	Colecta manual	-24.06	4.41
	NA	NA	Pluma	B. TLALPAN	26/04/2018	Colecta manual	-18.77	5.79
	NA	NA	Pluma	B. TLALPAN	27/04/2018	Colecta manual	-21.89	4.99
	NA	NA	Pluma	B. TLALPAN	29/052018	Colecta manual	-18.69	11.32
Artrópodos	Cucarachas/coleópteros	Género <i>Platinus</i> , <i>Ectobius</i>	Artrópodo entero	REPSA	16/03/2018	Trampa Pitfall	-22.84	3.17
	Saltamontes	<i>Melanoplus</i>	Artrópodo entero	REPSA	16/03/2018	Trampa Pitfall	-15.66	4.49
	Escarabajos	-	Artrópodo entero	REPSA	17/09/2018	Colecta manual	-14.31	6.85
	Chapulín	<i>Sphenarium purpurascens</i>	Artrópodo entero	REPSA	25/10/2018	Colecta manual	-26.64	7.03
	Araña tejedora	<i>Neoscona</i> sp.	Artrópodo entero	REPSA	25/10/2018	Colecta manual	-25.30	6.37
	Araña tejedora	<i>Neoscona</i> sp.	Artrópodo entero	REPSA	25/10/2018	Colecta manual	-24.24	4.83
	Arañas	<i>Cheiracanthium</i> sp.	Artrópodo entero	REPSA	16/03/2018	Colecta manual	-24.26	5.07
	Chinches y escarabajos	-	Artrópodo entero	B. TLALPAN	28/05/2018	Trampa Pitfall	-27.75	1.08
	Escarabajos de suelo	-	Artrópodo entero	B. TLALPAN	28/05/2018	Trampa Pitfall	-25.05	1.18
	Saltamontes	-	Artrópodo entero	B. TLALPAN	16/03/2018	Colecta manual	-25.34	-2.02
Chapulín	-	Artrópodo entero	B. TLALPAN	18/09/2018	Colecta manual	-26.02	-0.79	
Plantas	Nopal	<i>Opuntia tomentosa</i>	Fruto	REPSA	04/03/2018	Colecta manual	-13.86	-0.60
	Oreja de burro	<i>Echeveria gibbiflora</i>	Hojas	REPSA	03/03/2018	Colecta manual	-17.90	-3.20
	Granadita	<i>Passiflora subpeltata</i>	Hojas	REPSA	03/03/2018	Colecta manual	-24.60	4.24
	Jaboncillo	<i>Phytolacca icosandra</i>	Fruto	REPSA	04/03/2018	Colecta manual	-23.69	3.39
	Zacatón	<i>Muhlenbergia robusta</i>	Hojas	REPSA	16/03/2018	Colecta manual	-15.34	-1.51
	Pasto	<i>Rinchelitrum repens</i>	Hojas	REPSA	16/03/2018	Colecta manual	-13.99	-0.64
	Tepozán	<i>Buddleja cordata</i>	Hojas	REPSA	31/10/2018	Colecta manual	-27.99	1.23
	Nopal	<i>Opuntia tomentosa</i>	Fruto	B. TLALPAN	29/05/2018	Colecta manual	-14.22	-2.84
	Chipahuaxihuite	<i>Dioscorea galeotiana</i>	Hojas	B. TLALPAN	29/05/2018	Colecta manual	-24.02	-0.02
	Zacatón	<i>Muhlenbergia robusta</i>	Hojas	B. TLALPAN	29/05/2018	Colecta manual	-14.71	-0.67
	Amole	<i>Manfreda</i>	Hojas	B. TLALPAN	29/05/2018	Colecta manual	-19.44	-1.82
	Oreja de burro	<i>Echeveria gibbiflora</i>	Hojas	B. TLALPAN	29/05/2018	Colecta manual	-15.92	-4.17
	Encino	<i>Quercus</i> sp.	Hojas	B. TLALPAN	29/05/2018	Colecta manual	-25.87	-3.79
Agave	<i>Maquay</i>	Hojas	B. TLALPAN	29/05/2018	Colecta manual	-15.39	-5.25	



Anexo D-1. Prueba de Wilcoxon para la probabilidad de que los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y de  $\delta^{15}\text{N}$  de los grupos de alimentos de los mamíferos presa (MP) sean diferentes. Los valores menores de 0.05 son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

	Vegetación $\text{C}_3$ y los artrópodos que se alimentan en ella	Vegetación $\text{C}_4$ y CAM y los artrópodos que se alimentan en ella
Vegetación $\text{C}_4$ y CAM y los artrópodos que se alimentan en ella	$P < 0.001$	-
Alimentos humanos	$P < 0.001$	$P < 0.001$

Anexo D-2. Prueba de Wilcoxon para la probabilidad de que los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y de  $\delta^{15}\text{N}$  de los grupos de alimentos de los mamíferos consumidores nativos (MCN) sean diferentes. Los valores menores de 0.05 son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

	Roedores y lagartijas.	Hojas y frutos de vegetación $\text{C}_4/\text{CAM}$ y artrópodos que se alimentan en ella, y conejo castellano.	Hojas y frutos de vegetación $\text{C}_3$ y artrópodos que se alimentan en ella.
Hojas y frutos de vegetación $\text{C}_4/\text{CAM}$ y artrópodos que se alimentan en ella, y conejo castellano.	$P < 0.001$	-	-
Hojas y frutos de vegetación $\text{C}_3$ y artrópodos que se alimentan en ella.	$P < 0.001$	$P < 0.001$	-
Alimentos de origen humano.	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$

Anexo D-3. Prueba de Wilcoxon para la probabilidad de que los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y de  $\delta^{15}\text{N}$  de los grupos de alimentos de mamíferos consumidores introducidos (MCI) sean diferentes. Los valores menores de 0.05 son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

	Roedores, lagartijas, y artrópodos que se alimentan en vegetación $\text{C}_3$	Herbívoros que se alimentan de vegetación $\text{C}_4$ y CAM, como el conejo castellano.	Mamíferos medianos nativos (tlacuaches y cacomixtles).
Herbívoros que se alimentan de vegetación $\text{C}_4$ y CAM, como el conejo castellano	$P < 0.001$	-	-
Mamíferos medianos nativos (tlacuaches y cacomixtles).	$P < 0.001$	$P < 0.001$	-
Alimentos de origen humano	$P < 0.001$	$P < 0.05$	$P < 0.05$