



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERIA**

**DENSIDAD, USO Y EVALUACIÓN DEL HÁBITAT Y
DE LA DIETA DEL *Romerolagus diazi* EN EL
PARQUE NACIONAL IZTA-POPO, ZOQUIAPAN Y
ANEXAS**

JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ GARCÍA

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2011

La presente tesis titulada **Densidad, Uso y Evaluación del Hábitat y de la Dieta del *Romerolagus diazi*** en el Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas, realizada por el alumno: **JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ GARCÍA**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

**RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. LUIS ANTONIO TARANGO ARAMBULA

DIRECTOR DE TESIS



DR. GERMÁN DAVID MENDOZA MARTÍNEZ

ASESOR



DR. MARIA TERESA SÁNCHEZ-TORRES ESQUEDA

ASESOR



DR. JOSÉ LUIS ALCANTARA CARBAJAL

ASESOR



DR. RAYMUNDO RODRIGUEZ DE LARA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mayo de 2011

DENSIDAD, USO Y EVALUACIÓN DEL HÁBITAT Y DE LA DIETA DEL *Romerolagus diazi* EN EL PARQUE NACIONAL IZTA-POPO, ZOQUIAPAN Y ANEXAS

MARTINEZ GARCIA JOSE ANTONIO, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2011

Este estudio se desarrolló del invierno 2003-2004 al invierno del 2004-2005 en el Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas, en sitios con presencia de este conejo fueron denominados como Alzomoni (AL), El Pinar (EP), El Arco (EA), y El Papayo (PA) y tuvo como objetivos el estimar la densidad, el uso del hábitat, y evaluación del hábitat y de la dieta. Se estimó el tamaño poblacional, la densidad y la determinación del ámbito hogareño y cambios de éstas, bajo distintos tipos de unidades ambientales a lo largo del año. El uso de hábitat Este se determinó por medio de la selección de comunidades vegetales, porcentaje de cada uno de los componentes de la cobertura del hábitat, además se estableció el efecto de la perturbación del hábitat, ya sea por efectos atropogénicos o perturbación causada por otros animales. La dieta y hábitos alimenticios del *Romerolagus diazi*, así como la calidad nutricional y la capacidad nutricional de carga de su hábitat, además de la calidad nutricional de hábitat (MS, PC y FDN). En los resultados se encontró un mayor número de letrinas en AL (115 ± 1.9) y al final no se encontraron en PA (0.00 ± 0.0) y el número de excretas por letrina mostró la misma tendencia. En el verano de 2004 se observaron menos excretas (78.2 ± 4.0) y en invierno el mayor número 2003-2004 (110.8 ± 6.7). La mayor densidad encontró en EA (173.7 a 145.8 conejos/ha) y la menor en El Papayo (123.8 a 0 conejos/ha), sin embargo, el mayor número de conejos se estimó que se encuentran en AL (1677.5 a 1109.0 conejos) y el menor en PA (0 conejos). Se concluye que el sitio con mayor abundancia es El Pinar (173.7 a 145.8 conejos/ha), que corresponde a un paisaje del tipo de ladera con una diversidad vegetal de zacatón (*Festuca tolucensis*) y pino, mientras el mayor número de conejos se encontraron en Alzomoni (1677.5 a 1109.0 conejos), el cual tiene una diversidad vegetal correspondiente a zacatón de altura (*Muhlenbergia macroura*) y pino, con una planicie basáltica, además el factor más importante que determina la presencia o ausencia de *Romerolagus diazi*, en el área de estudio es que por lo menos el hábitat cuente con más del 60% de cobertura con gramíneas amacolladas (1.4 gramíneas/m²) con una altura mínima de 63.7 ± 4.8 cm y con 84.5 ± 2.7 cm a la base de la gramínea. Las principales plantas consumidas fueron *Muhlenbergia macroura* en Alzomoni, y *Festuca tolucensis* en El Arco, El Papayo, y El Pinar. La mayor producción de biomasa fue en Alzomoni con 20.7 Ton/ha en invierno 2003-2004 y la menor de 6.5 Ton/ha en invierno 2004-2005. La mayor concentración de proteína cruda se encontró en El Papayo (5.5%) y la menor en Alzomoni (4.8%). La mayor capacidad de carga nutricional fue para Alzomoni (719.6 individuos/ha), mientras que la más baja fue en El Papayo (694.4 individuos/ha). Se concluye que el hábitat con mejores características para la especie se encuentra en Alzomoni, sin embargo, los sitios que necesitan una mayor conservación y mejoramiento del hábitat son El Arco y El Pinar, dado que la densidad poblacional es muy cerca de su capacidad de carga.

Palabras clave: *Romerolagus diazi*; densidad, uso de hábitat, perturbación, dieta, capacidad nutricional de carga.

DENSITY, HABITAT USE AND EVALUATION OF THE DIET OF *Romerolagus diazi*, IN THE IZTA-POPO, ZOQUIAPÁN AND ANNEXED NATIONAL PARK

MARTINEZ GARCIA JOSE ANTONIO, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2011

This study developed Winter 2003-04 to 2004-2005 winter, in the National Park Iztapopo, Zoquiapan and Annexed, in sites with presence of this rabbit were referred to as Altzomoni (AL), The Pine (EP), The Arc (EA), and The Papayo (PA) and had as objectives estimate the density, the use of habitat, and habitat and diet evaluation. Estimated population size, density and the determination of the home area and changes thereof under various types of environmental units throughout the year. This habitat use was determined by the selection of plant communities, percentage of each of the components of the coverage of the habitat, also settled the effect of disturbance of the habitat, either by atropogenics effects or disturbance caused by other animals. Diet and eating habits of the volcano rabbit, as well as nutritional quality and the nutritional load nutritional carrying capacity of their habitat and nutritional quality of habitat (MS, PC and FDN). Results found a greater number of latrines in (115 ± 1.9) and the end is not found in PA (0.00 ± 0.0) and the number of excreta for latrine showed the same trend. In the summer of 2004 were less excreta (78.2 ± 4.0) and in winter the widest 2003–2004 (110.8 ± 6.7). The highest density found in EA (173.7 to 145.8 rabbits/ha) and a minor in the papaya (123.8 - 0 rabbits/ha), however, the greatest number of rabbits was estimated to be found in (1677.5 to 1109.0 rabbits) and minors in PA (0 rabbits). Site with greater abundance is El Pinar (173.7 to 145.8 rabbits/has), which corresponds to a type of hillside landscape with a plant diversity of zacaton (*Festuca tolucensis*) and pine, while the greatest number of rabbits were found in Altzomoni (1677.5 to 1109.0 rabbits), which has a corresponding height zacaton plant diversity (*Muhlenbergia macroura*) and pine, with a basaltic plateau, the most important factor that determines the presence or absence of volcano rabbit in the study area is at least the habitat has more than 60% coverage with grass (1.4 grasses/m²) with a minimum height of 1998 ± 4.8 cm and 84.5 ± 2.7 cm through the grass. The main consumed plants were *Muhlenbergia macroura* Altzomoni and *Festuca tolucensis* The Arc, The Papayo and The Pine. The increased production of biomass was Altzomoni with 20.7 Ton/has in winter 2003-2004 and the minor 6.5 Ton/has in winter 2004-2005. The largest concentration of crude protein was found in the papaya (5.5%) and at Altzomoni minor (4.8%). Greater nutritional burden was to Altzomoni (719.6 individuals/ha), while the lowest was in The Papayo (694.4 individuals/ha). Concludes the habitat with better features for the species found in Altzomoni, however, sites needing greater conservation and enhancement of habitat are The Arc and The Pine, given that the population density is of its carrying capacity.

Keywords: *Romerolagus diazi*, density, habitat use, perturbation, diet, nutritional carrying capacity.

Dedicatoria

Bernarda García Castro (†) mi madre,
la inspiración de todos mis actos y
siempre hizo hasta lo imposible
porque nada nos faltara, **GRACIAS**

Antonio Martínez Pérez (†), gracias papá
porque muy en tu forma de entender las cosas,
estuviste pendiente de lo que nos pasaban, **GRACIAS**

A mis hermanos, **Marisela, Graciela,
Ma. de la Luz, Rogelio y Rebeca, GRACIAS
POR SU CARIÑO**, además, a mis cuñados
Adriana, Arturo y Maurilio, gracias por su apoyo.

A mis sobrinos, **Katherine, Arturo, Renata,
Stephany, Bernardo, Adrianita, Alondra, Mauricio**,
y a mis sobrinos-nietos **Ángel y Jacob**, gracias
por la motivación y los momentos felices.

A mi **Tía Margarita Castro López**,
y mi **Tío José García Castro (†)**
han sido un gran ejemplo en mi vida

Al **Dr. Raúl Ricalde Velasco (†)**
desde donde esta, sigue ayudándome
y nunca voy a tener con que pagarle todo.

A mis **ex –alumnos**, le agradezco
las vivencias y sus enseñanzas, la motivación
para seguir adelante, mantenerme vigente
y en muchos casos su amistad

A los ángeles que he tenido la suerte que me cuiden pero
en especial a **Lucero**, que desde que se fueron nuestros
viejos, estuvimos juntos tanto en las buenas, malas y
las peores, y en esos momentos de tristeza y soledad,
siempre has estado a mi lado, y has sido mi
motivación y mi motor. Gracias **Pechite Pojoja**, TQM

Agradecimientos

Al pueblo de México porque debido a sus impuestos el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología pudo apoyarme económicamente para la realización de mis estudios de posgrado, espero a este pueblo corresponderles de igual manera que ellos lo han hecho conmigo.

Al Dr. Germán David Mendoza Martínez, le agradezco principalmente y antes que todo su amistad, ya que en cualquier momento he contado con su apoyo, a pesar de no haber hecho las cosas en su tiempo y forma, además de enseñarme y guiarme en el conocimiento de la nutrición y en especial de la fauna silvestre, gracias Germán por siempre tenderme la mano como amigo.

A la Dra. María Teresa Torres-Sánchez Esqueda y su familia, por el apoyo brindado desde que tuve la suerte de encontrarlos en mi camino.

Al Dr. Luis Antonio Tarango Arámbula, por su paciencia y ayuda para la realización de este documento.

Al Dr. José Luis Alcántara Carbajal, una persona comprometida con su quehacer en pro de la fauna, gracias por tu paciencia y por haber hecho que este documento tuviera coherencia y menos errores.

Al Dr. Raymundo Rodríguez de Lara, gracias por su ayuda y siempre encontrar palabras de apoyo, además por la forma desinteresada en que participo en este proyecto.

Al Dr. Marcelo Aranda, ya que me enseñó los detalles finos y lo maravilloso que es estudiar a los animales en su estado silvestre.

Al Dr. Fernando Cervantes, de quien siempre he encontrado palabras de apoyo.

Al Dr. Fernando X. Plata P., gracias por tu amistad y los consejos, además por todo el apoyo y permitirme estar en el equipo.

No quisiera dejar a nadie fuera y de forma global a la plantilla académica de Ganadería, ya que en ellos siempre he encontrado el apoyo para seguir adelante, así como tener el privilegio de contar con la amistad de la mayoría de ellos, por lo que espero no olvidarme de alguno, Dr. Ricardo Bárcena G, Dr. Sergio González, Dr. José Herrera Haro, Dr. Alfonso Hernández Garay, Dr. Jorge Pérez Pérez (†), Dra. Ma. Esther Ortega Cerrilla, Dr. Glafiro Torres Hernández, Dr. Mario Cobos Peralta, Dr. Jaime Gallegos Sánchez, Dr. Juan Manuel Cuca García, Dr. Arturo Pro Martínez, Dr. José Luis Figueroa Velasco, Dra. Magda Crosby Galván, Dr. Omar Hernández Mendo, Dr. David Hernández Sánchez, así como al personal secretarial, Celsa, Lupita, Vero y Lety, gracias a todos.

También quiero agradecer al personal del Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas, por brindarme la oportunidad de entrar al área del parque, además de tener la oportunidad de colaborar en su proyecto de Fabrica de Agua, Lic. Alejandro López (†), Ing. Alejandro Duran, y en especial por su amistad y colaboración para este documento del Geógrafo Agustín Tagle, y sin dejar de mostrar mi agradecimiento al equipo de guarda parques, y por todo lo que me enseñó sobre el parque y la forma de respetar a los animales, no quiero dejar de mencionar a Don Damián.

Al M. en C. Mariano Sánchez Trocino y al M. en C. Rogelio Campos Morales, además del cuerpo Médico Veterinario de la Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre de la Ciudad de México.

Como en la maestría, una vez más le agradezco a mi buen amigo Gerardo García Rosales, con sus comentarios atinados, así como la gran ayuda para la operación del trabajo de campo.

También a Gerardo López, y Delya, por su amistad y su apoyo, y obvio a mi “sobrina” Pame, ya que siempre que se de ella, me carga la pila, gracias.

A mis amigos del Colegio, aquí también espero no dejar a nadie fuera, Tere Jaramillo, Oziel Montañez, Luis Dickson, Pedro Abel, así como a Andrés y Héctor Lee, y gracias a todos los con los que tuve la suerte de convivir durante todos estos años en el Colegio.

Dr. Abraham de Jesús y Minerva, con los cuales siempre hemos contado en todo momento, y el cual fue uno de mis padrinos durante la licenciatura, y me hizo menos difícil el entendimiento de la bioquímica y fisiología.

A Memo y Alejandra que más que mis vecinos, han sido personas que nos consideramos como familiares, ya que en los momentos difíciles han estado ahí.

Índice

	Pág.
Resumen general	<i>i</i>
General abstract	<i>ii</i>
Dedicatoria	<i>iii</i>
Agradecimientos	<i>iv</i>
Índice	<i>vi</i>
Índice de cuadros	<i>ix</i>
Índice de figuras	<i>xi</i>
Índice de graficas	<i>xii</i>

Capítulo I Antecedentes

1. Clasificación taxonómica y filogenia	1
2. Características generales del <i>Romerolagus diazi</i>	4
2.1. Distribución	7
2.2. Uso de hábitat	10
2.3. Hábitos alimenticios	12
2.4. Importancia de ecológica de la especie	13
3. Área de estudio	14
3.1. Localización, límites y extensión	14
3.2. Vegetación	18
3.3. Clima	19
3.4. Actividades humanas	20
4. Literatura citada	20

Capítulo II Estimación del tamaño de población y densidad del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*)

1. Resumen	25
2. Abstract	26
3. Introducción	27
4. Material y métodos	29
4.1. Área de estudio	29
4.2. Metodología	29
4.3. Conteo de excretas	30
4.4. Ámbito hogareño	30
4.5. Estimación de densidad	31
4.6. Análisis estadístico	32

5. Resultados	32
5.1. Asociación vegetal y altura sobre el nivel del mar	32
5.2. Ámbito hogareño	33
5.3. Unidades de muestreo	33
5.4. Muestreo y conteo de excretas	34
5.5. Tasa de defecación	36
5.6. Densidad	36
6. Discusión	38
7. Conclusión	45
8. Recomendaciones de manejo	45
9. Literatura citada	46
10. Anexo	51

Capítulo III

Uso de hábitat y perturbación de hábitat del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*)

1. Resumen	55
2. Abstract	56
3. Introducción	57
4. Material y métodos	63
4.1. Área de estudio	63
4.2. Método	66
4.2.1. Muestreo de vegetación	66
4.2.2. Uso de hábitat	67
4.2.3. Variables de estudio	67
4.3. Análisis estadístico	68
5. Resultados	69
5.1. Tipos de vegetación	69
5.2. Uso de hábitat	71
5.2.1. Comparación del uso de hábitat	72
5.3. Perturbación	73
6. Discusión	77
6.1. Tipos de vegetación	77
6.2. Uso de hábitat	78
6.3. Perturbación	81
7. Conclusiones	83
8. Implicaciones de manejo	83
9. Literatura citada	84

Capítulo IV

Composición de la dieta y estimación de la capacidad de carga del *Romerolagus diazi*

1. Resumen	92
2. Abstract	93
3. Introducción	93
3.1. Composición de la dieta	93
3.2. Capacidad de carga nutricional	96
4. Material y métodos	97
4.1. Ubicación	97
4.2. Metodología	97
4.2.1. Estimación de biomasa	98
4.2.2. Caracterización de hábitos alimenticios	99
4.2.3. Capacidad de carga nutricional	99
4.3. Análisis estadístico	100
5. Resultados	100
5.1. Composición vegetal del hábitat	100
5.2. Hábitos alimenticios	101
5.3. Estimación de biomasa	103
5.4. Aporte nutricional del hábitat	104
5.5. Capacidad de carga nutricional (CCN)	108
6. Discusión	111
6.1. Composición botánica del hábitat	111
6.2. Hábitos alimenticios	111
6.3. Capacidad de carga nutricional (CCN)	113
7. Conclusiones	115
8. Recomendaciones de manejo	116
9. Literatura citada.....	117

Índice de cuadros

Pág.

Capítulo I Antecedentes

Cuadro 1	Pesos y medidas de los conejos	4
----------	--------------------------------------	---

Capítulo II

Estimación del tamaño de población y densidad del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*)

Cuadro 1	Características del paisaje, asociación vegetal, y altura media sobre el nivel del mar de los sitios	33
Cuadro 2	Superficie (ha) de los polígonos de las áreas de estudio, tomando en cuenta distintas superficies de los polígonos (1,000 m ² , 500 m ² , y 100 m ²)	33
Cuadro 3	Relación de unidades de muestro (número de letrinas; $\mu \pm EE$) por estación en cada sitio con presencia de <i>Romerolagus diazi</i>)	34
Cuadro 4	Media del número de excretas ($\mu \pm EE$) por estación de cada sitio con presencia de <i>Romerolagus diazi</i>	35
Cuadro 5	Conteo de excretas de <i>Romerolagus diazi</i> ($\mu \pm EE$) por sitio y estación del año	36
Cuadro 6	Tasa de defecación ($\mu \pm EE$) de <i>Romerolagus diazi</i> en cautiverio, alimentado en cautiverio con distintos porcentajes de adición de <i>Muhlenbergia macroura</i> en la dieta	37
Cuadro 7	Estimación de densidad (conejo/ha) de <i>Romerolagus diazi</i> y número de conejos, por sitio y estación del año	38

Capítulo III

Uso de hábitat y perturbación de hábitat del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*)

Cuadro 1	Medias de la densidad por m ² de gramíneas, altura media, altura máxima, altura mínima y diámetro de las gramíneas amacolladas	70
Cuadro 2	Uso de hábitat en los sitios con presencia de <i>Romerolagus diazi</i>	73
Cuadro 3	Perturbación por estación del año	74
Cuadro 4	Perturbación por sitios con presencia de <i>Romerolagus diazi</i>	76

Capítulo IV

Composición de la dieta y estimación de capacidad de la carga del *Romerolagus diazi*

Cuadro 1	Diversidad vegetal presente en los sitios estudiados con presencia de rastros de <i>Romerolagus diazi</i>	101
Cuadro 2	Frecuencia (FA) y Porcentaje de Aparición (PA) de restos de vegetación (análisis microhistológico) en excretas de <i>Romerolagus diazi</i>	102
Cuadro 3	Densidad ($\mu \pm DE$) por m^2 de gramíneas, altura media (cm), diámetro (cm), peso del zacatones (BH, kg/m^2) y Biomasa (MS, kg/m^2) de gramíneas amacolladas	103
Cuadro 4	Densidad ($\mu \pm DE$) de gramíneas por época del año, altura media (cm), diámetro (cm), peso del zacatón en base húmeda (BH, kg/m^2) y Biomasa (MS, kg/m^2) de las gramíneas amacolladas	104
Cuadro 5	Porcentajes de aportes nutricionales del hábitat, con relación a Materia Seca (MS), Proteína Cruda (PC), y Fibra Detergente Neutro (FDN) en los sitios estudiados	105
Cuadro 6	Producción en toneladas por hectárea y estación del año de Materia Seca (MS), Proteína Cruda (PC) y Fibra Detergente Neutro (FDN), en sitios con presencia de <i>Romerolagus diazi</i>	108
Cuadro 7	Estimación de la capacidad nutricional de carga (conejos/ha) para los sitios evaluados en las diferentes estaciones del año, tomando el 35% del coeficiente de uso (Stuth y Sheffield, 2001; citados por Mendoza <i>et al.</i> , 2004)	109
Cuadro 8	Estimación de la capacidad nutricional de carga, para los sitios evaluados en las diferentes estaciones del año, tomando el 50% como coeficiente de uso (Cervantes, 1980; Cervantes y Martínez, 1992, 1996)	109

Índice de figuras

	Pág
Capítulo I Antecedentes	
Figura 1	Relación taxonómica del <i>Romerolagus diazi</i> 2
Figura 2	Filogenia de los <i>Leporinae</i> en la evolución del premolar superior 2 y el premolar inferior 3..... 3
Figura 3	Área de distribución de <i>Romerolagus diazi</i> . El área está fragmentada en 16 unidades: cuatro núcleo y doce periféricas..... 8
Figura 4	Ubicación del Eje Neovolcánico Transversal y Áreas Potenciales de Distribución de <i>Romerolagus diazi</i> (APoDR). 15
Figura 5	Ubicación de los sitios de muestreo con observaciones visuales y presencia de rastros del conejo de los volcanes (<i>Romerolagus diazi</i>).. 17
Capítulo II Estimación del tamaño de población y densidad del conejo de los volcanes (<i>Romerolagus diazi</i>)	
Figura 1	Polígonos correspondientes a lugares donde se ubicaron letrinas correspondientes a Altzomoni 51
Figura 2	Polígonos correspondientes a lugares donde se ubicaron letrinas correspondientes a El Pinar 52
Figura 3	Polígonos correspondientes a lugares donde se ubicaron letrinas correspondientes a El Arco 53
Figura 4	Polígonos correspondientes a lugares donde se ubicaron letrinas correspondientes a El Papayo 54
Capítulo III Uso de hábitat y perturbación de hábitat del conejo de los volcanes (<i>Romerolagus diazi</i>)	
Figura 1	Localización del área de estudio dentro del Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas 64
Figura 2	Ubicación de los sitios de muestreo del <i>Romerolagus diazi</i> en el Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas 66
Figura 3	Dendrograma de las comunidades de plantas identificadas en los sitios evaluados 71
Figura 4	Dendrograma del uso de hábitat en el Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas 72

Índice de graficas

Pág

Capítulo III

Uso de hábitat y perturbación de hábitat del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*)

Grafica 1	Altura (cm) de las gramíneas amacolladas (<i>Muhlenbergia macroura</i> , <i>Muhlenbergia emersleyi</i> , <i>Festuca toluensis</i> y <i>Arundinella deppeana</i>), en las diferentes épocas del año en los diferentes por sitios	69
------------------	---	----

Capítulo IV

Composición de la dieta y estimación de capacidad de la carga del *Romerolagus diazi*

Grafica 1	Porcentaje de Materia Seca por época del año de la vegetación presente en los sitios con presencia de <i>Romerolagus diazi</i>	106
Grafica 2	Porcentaje de Proteína Bruta por época del año de la vegetación presente en los sitios con presencia de <i>Romerolagus diazi</i>	106
Grafica 3	Porcentaje de Fibra Detergente Neutro por época del año de la vegetación presente en los sitios con presencia de <i>Romerolagus diazi</i>	107
Grafica 4	Comparación de los coeficientes de utilización, relacionadas a las estimaciones de densidad en cada uno de los sitios	110

Capítulo I

Antecedentes

1. Clasificación taxonómica y filogenia.

Los conejos y liebres son mamíferos del orden *Lagomorpha* (del griego. *lagus* = conejo y *morpho* = forma; forma de conejo), el cual comprende a las familias *Ochotonidae* (pikas) y *Leporidae* (conejos y liebres). Los ocótonidos son diversos en Asia y Europa, en América sólo se encuentran dos especies con distribución restringida a Estados Unidos y Canadá. En contraste, los lepóridos tienen una representación taxonómica y geográfica muy amplia en todo el mundo (Cervantes *et al.*, 1990).

México es el país del Continente Americano con mayor número de especies de conejos y liebres silvestres; en sus límites territoriales se encuentran nueve especies de conejos (ocho del género *Sylvilagus* y una del género *Romerolagus*), y cinco especies de liebres (todas del género *Lepus*). De ese total, cinco especies de conejos y tres de liebres son endémicos y ocupan áreas de distribución muy reducidas, con excepción del conejo montés o mexicano (*Sylvilagus cunicularius*) y de la liebre torda (*Lepus caūotfs*), que ocupan una superficie relativamente mayor (Ramírez-Pulido y Müdespacher, 1987; Cervantes y Martínez, 1996a; Romero y Velázquez, 1996).

El conejo de los volcanes, también llamado teporingo, zacatuche o conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*) es un lagomorfo endémico de México. Esta especie se distribuye sólo en una pequeña área restringida a las montañas del sur y suroeste del Valle de México. Es el conejo más pequeño que existe en nuestro territorio. Asimismo, es considerado un conejo primitivo, de ahí la importancia de conocer su origen y sus relaciones biogeográficas, ecológicas y filogenéticas (Romero y Velázquez, 1996).

La apariencia física de *Romerolagus diazi* es similar a la de cualquier otro conejo, sin embargo, sus atributos cromosómicos y reproductivos lo relacionan más con las liebres (*Lepus*) que con los conejos (*Sylvilagus*), por lo que (Figura 1) es considerado como un lagomorfo atípico (Romero y Velázquez, 1996).

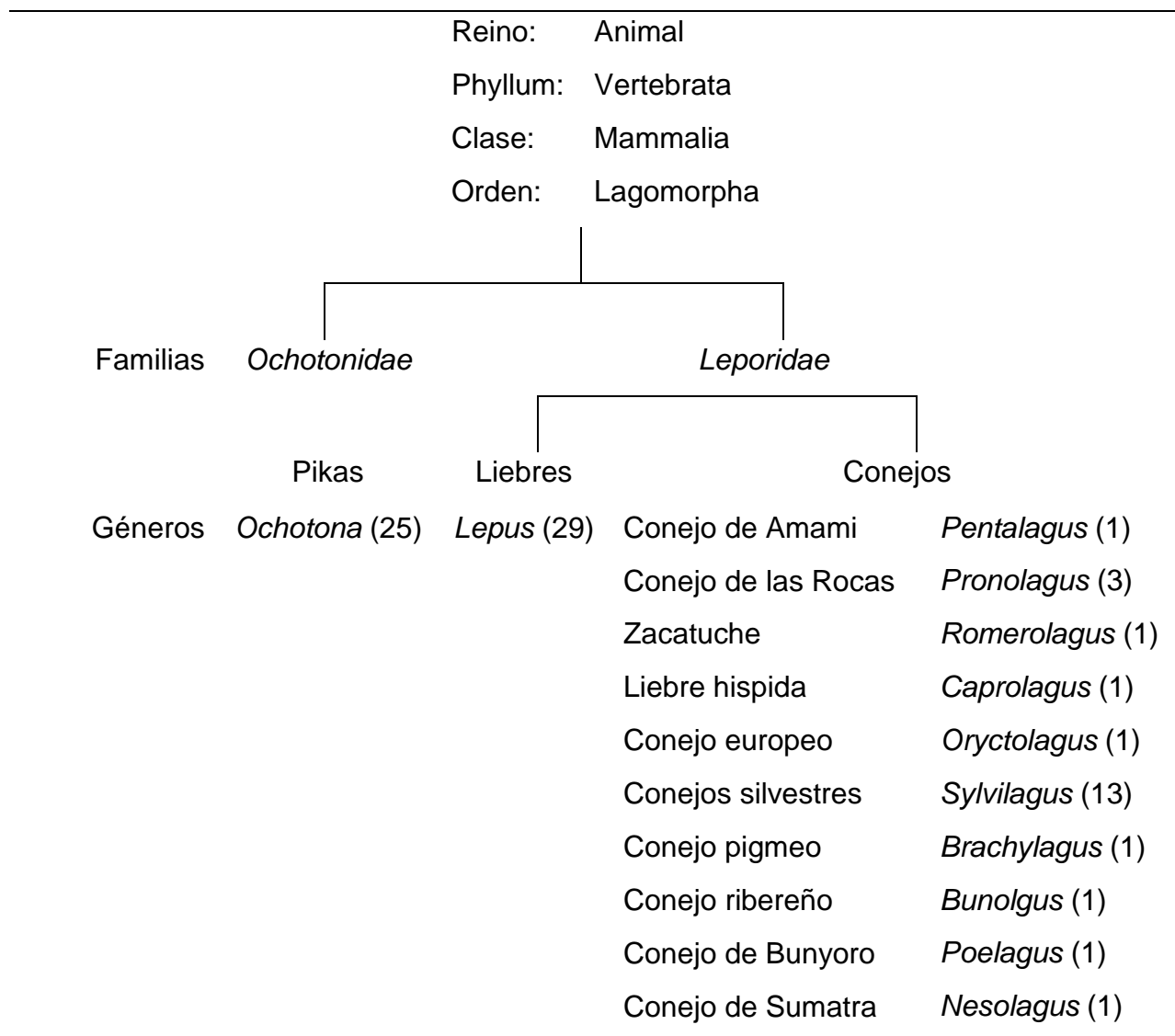


Figura 1. Relación taxonómica del *Romerolagus diazi*.

Los números entre paréntesis representan el número de especies por género.

(Chapman y Flux, 1990).

Fernando Ferrari Pérez (1893) describió originalmente al zacatucho como *Lepus diazi* con base en especímenes provenientes de la pendiente noreste del volcán Iztaccíhuatl (la parte correspondiente al estado de Puebla). Casi al mismo tiempo, fue renombrado como *Romerolagus nelsoni* por Merriam (1897); con ejemplares procedentes del volcán Popocatepetl (localidad tipo) a 3,350 msnm, desatando una disputa sobre la autoría y denominación de la especie que no fue resuelta sino hasta

1911 con la propuesta de G.S. Miller de combinar los nombres y, más tarde, en 1995 cuando Paulino Rojas aclaró que la autoría y descripción de la especie eran debidas a Ferrari Pérez (Cuevas, 2008). Mediante esta clasificación se le ubico en la subfamilia *Palaeolaginae*, familia *Leporidae*, orden *Lagomorpha*. Sin embargo, Corbet en 1983 consideró que el zacatuche es un lepórido de la subfamilia *Leporinae* de acuerdo con las características de su tercer premolar inferior (Figura 2).

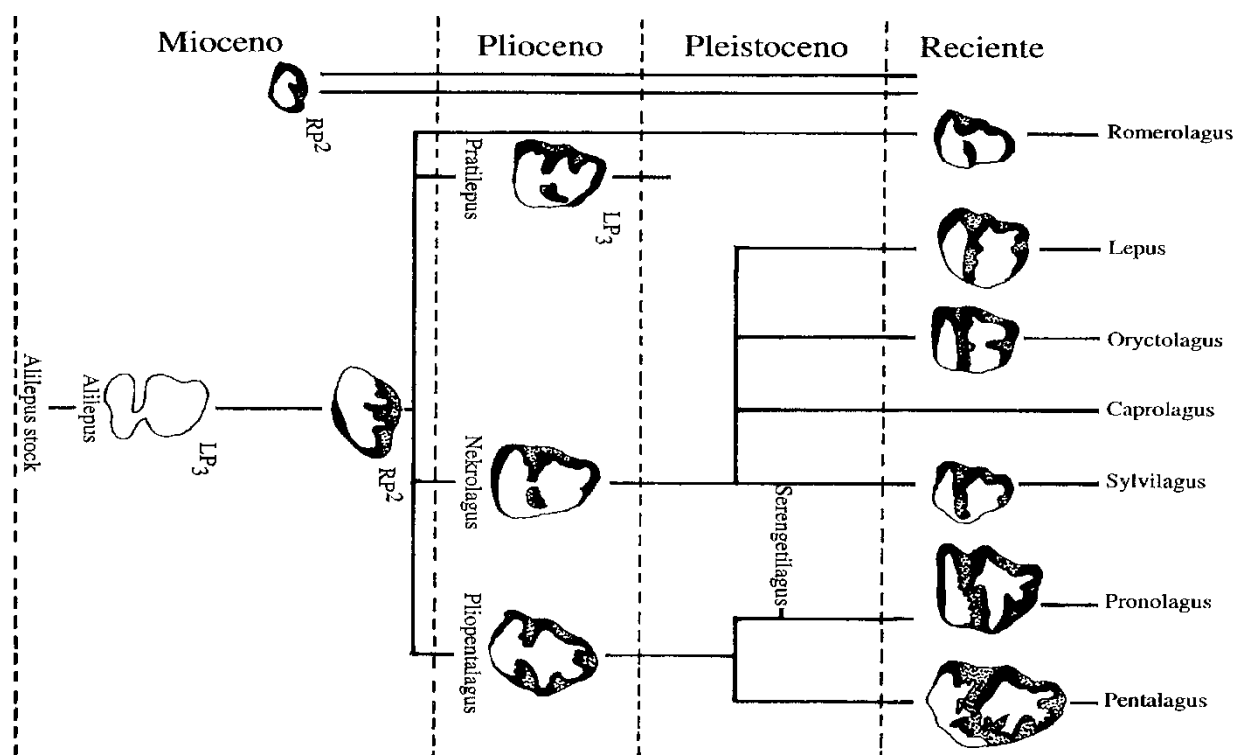


Figura 2. Filogenia de los *Leporinae* en la evolución del premolar superior 2 y el premolar inferior 3 (Hibbard, 1963).

Sin embargo, basándose en comparaciones óseas entre zacatuche, pika y liebre, Herrera (1897) consideró que biológicamente no era justificable nombrar un nuevo género para incluir al zacatuche por lo que se incluyó al *Romerolagus diazi* en el género *Lagomys* (Cervantes *et al.*, 1990; Cervantes y Martínez, 1996b). Se ha lanzado la hipótesis de que el *Romerolagus diazi* probablemente se diferenció en la Meseta Desértica Americana (Uribe-Alcocer, 1977) y permaneció como relicto al terminar las glaciaciones, estableciéndose principalmente en las altas montañas del sur del Valle de

México, hábitat en donde se ha conservado sin un cambio evolutivo aparente (Rojas 1951; Barrera, 1953; citados por Cervantes y Martínez, 1996b).

2. Características generales del *Romerolagus diazi*

El *Romerolagus diazi* es pequeño en relación con el resto de las especies de la familia *Leporidae* (López-Forment y Cervantes, 1981) y sólo un poco mayor que el conejo pigmeo (*Sylvilagus idahoensis*) (Nelson, 1909; citado por Cervantes y Martínez, 1996b). Sus extremidades anteriores y posteriores son cortas, orejas pequeñas y redondas, la cola es pequeña, que pareciera no existir (Cervantes y Martínez, 1996b).

A pesar de algunas diferencias entre sexo, las hembras no son significativamente diferentes en tamaño a los machos, haciendo notar que estos no son los únicos datos en aspectos morfométricos de esta especie, corroborando que el *Romerolagus diazi* es el lagomorfo mas pequeño (Cuadro 1) que se encuentra en forma silvestre en México (Rojas 1951; citado por Cervantes y Martínez, 1996b; Leopold, 2000; Campos *et al.*, 2001).

Cuadro 1. Pesos y medidas de los conejos.

Especie	Cabeza (mm)	Cola (mm)	Miembro		Peso (g)
			posterior (mm)	Oreja (mm)	
<i>Romerolagus diazi</i>	270-315	18-31	42-55	40-45	380-600
<i>Sylvilagus bauchmani</i>	280-300	30-40	70-75	55-63	600-700
<i>Sylvilagus audubonii</i>	300-330	50-65	75-85	55-65	750-800
<i>Sylvilagus floridanus</i>	350-400	40-55	89-104	50-67	900-1000
<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	360-400	10-20	70-75	45-50	
<i>Sylvilagus cunicularius</i>	430-445	51-67	95-110	70-75	1800-2300

Modificado de Leopold (2000)

Los valores morfométricos promedio reportados por Cervantes (1982) para machos (♂, $n = 31$) y hembras (♀, $n = 26$) adultos en una muestra de 57 animales silvestres fueron los siguientes: longitud total 268.3 mm en ♂ (234 a 292 mm) y 285.1

mm en ♀ (240 a 321 mm), peso 417.4 g en ♂ (386.6 a 479.1 g) y 535.9 g en ♀ (462.1 a 602.5 g).

Anatómicamente, las costillas son proporcionalmente pequeñas y constan de seis pares; presenta cinco vértebras cervicales y nueve vértebras caudales. Algunas de estas características morfológicas, incluyendo la cuenta dentaria, se asemejan a las de los demás conejos ancestrales (Figura 2). El pelaje es bastante corto y abundante, de color amarillo mezclado con negro en el dorso y en las partes laterales; las partes extremas (punta y base) de los pelos son negras, mientras que la parte media es amarilla. La parte superior de los miembros tanto anteriores como posteriores son de color ocre brillante y la superficie ventral marrón pálido; el color de la cola rudimentaria es del mismo color que el dorso. Los lados de la nariz y la región orbital son de color ocre; la base de los oídos es de color ocre metálico; debajo de la garganta el color es ocre mezclado con un pelaje corto a manera de forro de color gris oscuro-plateado (Cervantes, 1980; Cervantes *et al.*, 1990).

El *Romerolagus diazi*, al igual que las especies de *Sylvilagus*, presenta un triángulo de pelo amarillento en la nuca entre la base de las orejas. La región pectoral está cubierta con pelos largos y suaves; no existe un contraste con el color del pelaje ventral, como es el caso en otros conejos y liebres (Velázquez, 1984).

Con relación a su reproducción, se pueden encontrar hembras sexualmente activas a lo largo de todo el año, pero con mayor frecuencia durante la época de lluvias (julio-agosto). Asimismo, las hembras tienen tres pares de glándulas mamarias: un par pectoral, uno abdominal y otro inguinal. Durante el período de lactancia las glándulas aumentan de tamaño hasta 1 mm de grosor y forman dos líneas longitudinales conectando los tres pares de glándulas formando un triángulo (Cervantes, 1980; Cervantes *et al.*, 1990).

Las hembras lactantes no producen leche en la totalidad de las glándulas mamarias, por lo que normalmente solamente cuatro mamas secretan leche y no existe inhibición lactacional en la presentación del estro postparto. El período de gestación es de 39 días en promedio, siendo mayor que el de otros tipos de conejos como *Oryctolagus*, *Sylvilagus* y *Ochotona* (de 27 a 30 días para estos últimos), y menor que

en las liebres que se ubica entre los 36 y 50 días (Cervantes, 1980; Cervantes *et al.*, 1990).

Aparentemente no existe época reproductiva estacional, ya que se han observado partos a lo largo del año, incrementándose esta actividad reproductiva durante veranos con temperatura tibia de aproximadamente 20 a 25°C y una humedad relativa mayor al 70%, aunque disminuye durante el invierno frío y seco. Se han encontrado nidos con crías entre los meses de abril y septiembre. El promedio de camada es de 2.07 ± 0.7 gazapos en vida silvestre (Cervantes *et al.*, 1990) y 2.4 ± 0.7 en cautiverio (Matsuzaki *et al.*, 1996; Romero y Velázquez, 1996); al nacimiento las crías miden 93.8 mm de longitud total y pesan 24.1 g, en promedio. Nacen cubiertos de pelo, a diferencia de *Oryctolagus* y *Sylvilagus* que carecen de pelo al nacer. Asimismo, al nacimiento se encuentran con parpados cerrados, presentan las vibrisas faciales y las uñas bien desarrolladas. Abren los ojos entre el cuarto y el octavo día, aunque permanecen en el nido hasta las dos semanas de vida, cuando alcanzan aproximadamente una longitud total de 154 mm y un peso promedio de 99.4 g; cuando alcanzan esta talla inician actividad fuera del nido, sin embargo, se ha observado que continúan amamantándose (Cervantes, 1980; Cervantes *et al.*, 1990). En cuanto a la lactancia, 78.8% de los gazapos en cautiverio han podido ser destetados entre los 21 y 28 días después del nacimiento, lo que se considera como un porcentaje relativamente alto (Matsuzaki *et al.*, 1996; Romero y Velázquez, 1996).

Se ha observado que estos lagomorfos son de hábitos crepusculares, teniendo la mayor actividad durante la mañana, principalmente al amanecer, cuando es más común observarlos alimentándose, explorando e interaccionando entre ellos, hasta poco antes del anochecer. Sin embargo, requiere de un tipo de zacatón el cual tiene la función de cobertura de protección y escape, además que puede llegar a mimetizarse con el suelo y las rocas debido a la coloración de su pelaje. Tiene la característica de permanecer inmóvil con las orejas levantadas, identificándose esto como una conducta de alerta. Otra conducta que se llega a observar es que no se alejan grandes distancias cuando huyen, sino que corren solamente algunos metros y se detienen varias veces antes de llegar a su madriguera (Cervantes y Martínez, 1996a; Romero y Velázquez, 1996).

Asimismo, se establece y vive en grupos de dos a cinco individuos como una forma de organización social bien definida; presenta conductas de agresión como morder y expulsar a otros individuos en defensa de un territorio y de sus compañeros, tanto que se ha postulado la teoría de la territorialidad de estos animales, ya que se ha observado que si algún otro animal (tanto pequeños como grandes mamíferos) defeca dentro de su ámbito hogareño, el conejo de los volcanes forma una nueva letrina encima de las excretas de los animales considerados como invasores (Cervantes, comunicación personal, 2005).

Un rasgo peculiar del *Romerolagus diazi* al igual que el *Ochotona princeps*. es que utiliza frecuentemente vocalizaciones agudas y fuertes, las que muy posiblemente tienen como objetivo informar a otros individuos sobre la presencia de depredadores. Además, aunque no haya situaciones de alarma, el zacatuche vocaliza como parte normal de sus interacciones sociales; sin embargo, falta investigación para el entendimiento e interpretación de estas vocalizaciones (Cervantes, 1980; Cervantes y Martínez, 1996a; Romero y Velázquez, 1996). Las excretas de *Romerolagus diazi* tienen una forma característica, esto es, achatadas en los polos y ensanchas en el centro, sus diámetros van de 5 a 9 mm para animales adultos, mientras que para juveniles no suelen exceder los 5 mm, lo que a su vez puede ser un indicador de la estructura de la población (Contreras *et al.*, 1989; Cervantes *et al.* 1990, Aranda, 2000).

2.1. Distribución

El *Romerolagus diazi* es una especie endémica de México; su área de distribución está restringida a la zona central del Eje Neovolcánico Transversal (Cervantes *et al.*, 1990; Velázquez *et al.*, 2003). Este animal ha sido calificado como un animal primitivo o “fósil viviente” por el misterio que representa su origen y sus relaciones biogeográficas (Figura 2). Aunque históricamente se especulaba que el *Romerolagus diazi* se distribuía en la totalidad de los volcanes del Eje Neovolcánico Transversal, inspecciones de varias cumbres del Eje, como el Pico de Orizaba (Citlaltépetl) y Cofre de Perote (Nauhcampatépetl) en el Estado de Veracruz, La Malinche (Matlacuétl) en Tlaxcala, así como el Nevado de Colima y algunos lugares del Estado de Michoacán, no han detectado individuos en estos sitios (Hoth *et al.*, 1987).

Actualmente, su distribución parece estar restringida a la parte montañosa del sur del Valle de México (Figura 3). Específicamente en tres áreas núcleo, aisladas entre sí, la Sierra Nevada (Volcán Iztaccíhuatl y Volcán Popocatepetl), el Volcán Tláloc y el Volcán Pelado (Sierra del Chichinautzin). El área total de distribución que se estimó para la década de los 1980 fue de 280 km². Sin embargo, a principios de los 1990 se concluyó que la distribución total era de 368.5 km². Este incremento en la superficie se debe a que se realizó un estudio más detallado mediante el cual se encontraron áreas pequeñas aledañas a las zonas núcleo, no reportadas con anterioridad (Figura 3), así como a una medición más precisa en la superficie real tanto en las áreas núcleo (F, M, O, P) como en las periféricas (A, B, C, D, E, G, H, I, J, K, L, N) (Cervantes *et al.*, 1990; Romero y Velázquez, 1996; Velázquez *et al.*, 1996).

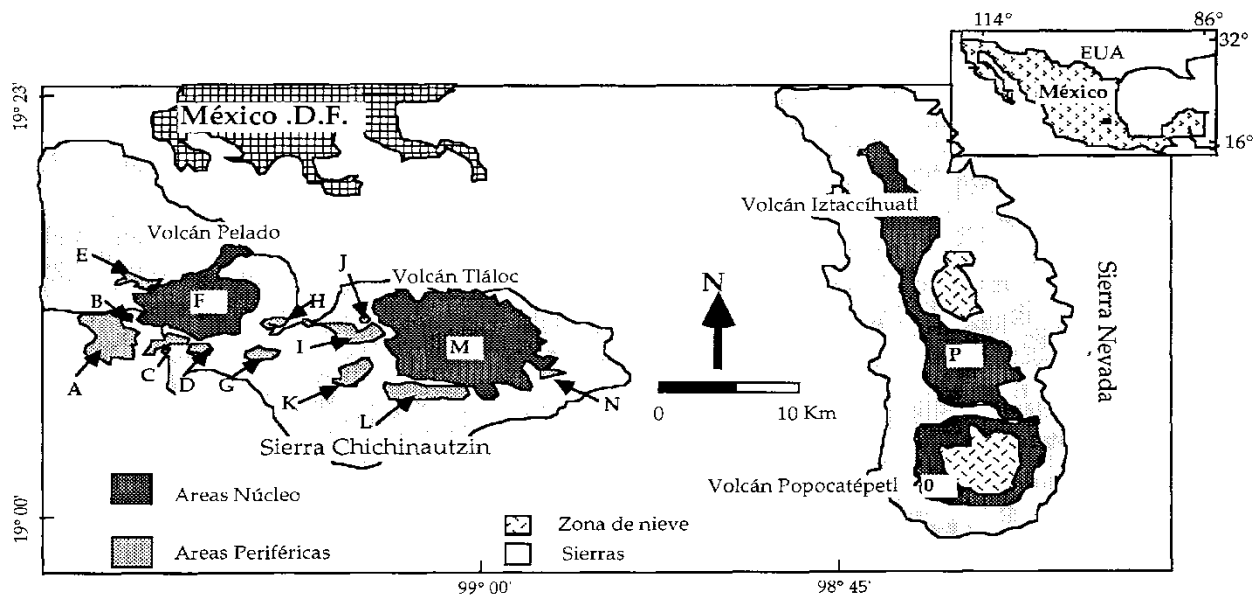


Figura 3. Área de distribución de *Romerolagus diazi*. El área está fragmentada en 16 unidades: cuatro núcleo y doce periféricas. Tomado de Velázquez *et al.* (1996).

Entre 1983 y 1993 se llevaron a cabo estudios que revelan una constante actividad humana y de perturbación en toda el área donde se ubica el conejo de los volcanes, lo que ha provocado la fragmentación de su hábitat. La presencia del conejo de los volcanes se ha limitado a la Sierra Nevada y a la Sierra del Chichinautzin (Figura 3). En esta última, la persistencia del conejo se restringió a los volcanes Pelado y

Tláloc (sur de la Ciudad de México), con una extensión de 68 y 69 km², respectivamente. En la Sierra Nevada se identificó un área continua de 132 km² ocupada por el *Romerolagus diazi* en los volcanes Popocatepetl, Papayo e Iztaccíhuatl (laderas norte, oeste y sur de este último). Todas las zonas mencionadas fueron consideradas como áreas núcleo de distribución de la especie, ya que representan las mayores superficies (Romero y Velázquez, 1996; Velázquez *et al.*, 1996).

Asimismo, a partir de 98 registros visuales localizados dentro de o en zonas aledañas a las áreas previamente citadas, para identificar las áreas periféricas de distribución, se publicó un mapa para comparar el grado de fragmentación del hábitat. Se encontró que la superficie total de distribución del *Romerolagus diazi* está dividida en 16 unidades aisladas (12 periféricas y 4 núcleo) (Figura 3). Esto es el resultado de la presencia de autopistas, caminos transitados por vehículos motorizados, zonas de cultivo permanentes y zonas habitacionales, que son considerados como barreras geográficas para el movimiento del *Romerolagus diazi*. Además de lo anterior, se puede observar también que la presencia de zacatuche se restringe a los límites del área cultivada con la vegetación natural. La suma de todas estas barreras impide la dispersión y migración entre poblaciones, lo que incrementa la probabilidad de extinción de la especie (Romero y Velázquez, 1996; Velázquez *et al.*, 1996).

En relación con el estado actual de la densidad de la población de *Romerolagus diazi*, no se ha mantenido un monitoreo constante de esta población. En este sentido el para el área del Volcán El Pelado, el cual se realizó por medio de transectos e indicios indirectos (número de excretas y cantidad de letrinas presentes). En el periodo de 1986-1989 el tamaño de la población en dicha área fluctuó entre 2,478 y 12,120 individuos, con una media de 6,488 ejemplares; es decir, una densidad de entre 0.781 animal/ha y 1.351 animal/ha, para la superficie de 83 km² y 48 km² respectivamente, que es el área total del volcán y el área con condiciones de presencia de *Romerolagus diazi* (Velázquez, 1994). Sin embargo, esa no es la única zona donde todavía se encuentra el conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*) por lo que hace falta un monitoreo constante de éstas y otras áreas, por ejemplo, algunas comunidades rurales con áreas naturales de las delegaciones de Milpa Alta y Tlalpan en el Distrito Federal (Sierra Chichinautzin), zonas aledañas al Nevado de Toluca (Ceballos *et al.*, 1998) y

los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl en los estados de México, Puebla y Morelos, en donde todavía es común escuchar a los lugareños que van a cazar estos y otros lagomorfos.

2.2. Uso de hábitat

Se ha reportado la presencia de diversos tipos de vegetación dentro del área de distribución del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*), lo que indica la existencia de un mosaico de hábitats diferentes. Se han descrito cuáles son los más favorables, así como los factores que potencialmente influyen en su distribución y abundancia (Velázquez *et al.*, 1996, 2003), definiéndose nueve comunidades vegetales consideradas como sinónimos de hábitats, que en su conjunto representan todos los hábitats encontrados en la región con presencia de *Romerolagus diazi*. Los nueve tipos de hábitats son los siguientes:

1. Paramos supra-alpinos: Zacatonal abierto que se encuentra por arriba de los 4,230 msnm. La distribución de las plantas es agregada con un alto porcentaje de suelo descubierto (60%).
2. Zacatonal supra-alpino: Zacatonal poco más denso que el anterior, localizado entre los 4,100 y 4,220 msnm, donde los pastos se encuentran formando macollos.
3. Zacatonal alpino: Zacatonal homogéneo y muy denso distribuido entre los 3,900 y los 4,130 msnm, donde normalmente se observan indicios de quema y pastoreo.
4. Bosque de pino de altura: Pinar abierto de amplia distribución con un estrato herbáceo denso y homogéneo. Se localiza entre los 3,120 y 3,840 msnm. La vegetación perturbada por pastoreo y quema, para el Volcán Tláloc y el Volcán El Pelado se encontraron letrinas de *Romerolagus diazi*.
5. Zacatonal inducido en bosque de pino: Pinar más ampliamente distribuido en el Volcán Pelado, entre los 3,090 y los 3,620 msnm. El estrato arbóreo es homogéneo, denso y domina al igual que el estrato herbáceo, aunque éste en mayor proporción a manera de parches. En este sitio se observaron indicios de pastoreo extensivo y zonas donde el suelo ha sido extraído para jardinería. En un 70% de los sitios visitados se observaron rastros de *Romerolagus diazi*.

6. Bosque mixto. De aile-pino, localizado entre los 3,000 y 3,500 msnm. Este hábitat es menos denso que el anterior. Caracterizado por pastoreo, quema, tala y extracción de tierra como actividades comunes. Para los Volcanes Tláloc y El Pelado sólo en 10 sitios (44%) se encontraron rastros de *Romerolagus diazi*.
7. Zacatonal en bosque de oyamel. Bosque abierto de oyameles con un estrato herbáceo muy bien definido, restringido a los volcanes Tláloc y Pelado, entre los 3,150 y 3,480 msnm. El estrato rasante es conspicuo. Presencia de tala y caminos, en seis de once sitios explorados se encontraron rastros de *Romerolagus diazi*.
8. Bosque de oyamel. Bosque muy denso restringido al Volcán Popocatepetl, entre los 2,840 y 3,340 msnm. Este hábitat ha sido talado intensivamente; sin rastros de zacatuche.
9. Bosque de oyamel y cedro. Bosque mixto restringido al Popocatepetl, entre 2,840 y 3,070 msnm. Es la vegetación límite con las zonas de agricultura, por lo que se encuentra muy perturbada.

Estos dos últimos son considerados como hábitats históricos.

(Velázquez *et al.*, 1996).

Para definir los hábitats del *Romerolagus diazi*, es necesario considerar dos aspectos: el florístico y el estructural. De esta manera se aprecian las especies dominantes en los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo. El primer aspecto define la composición de las comunidades además de determinar la fuente de alimentos, el segundo contempla su papel como refugio, (Romero y Velázquez, 1996).

Los factores importantes que potencialmente determinan la presencia y abundancia de *Romerolagus diazi*, son la altitud y el estrato herbáceo. Esto ha sugerido que los hábitats principalmente se determinan por la estructura de la vegetación. Es preocupante que actualmente estos hábitats sean los más perturbados sin ofrecer refugio adecuado para el *Romerolagus diazi* (Cervantes, 1990; Velázquez *et al.*, 1994,1996).

La cobertura del estrato herbáceo está íntimamente relacionado con la presencia del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*), sin embargo, se destaca la importancia de especies del género *Muhlenbergia* y otras gramíneas amacolladas para la

sobrevivencia del conejo de los volcanes, por lo que todo parece indicar que es el elemento más importante del estrato herbáceo en este tipo de hábitats. Las características tales como los nutrientes, la estructura y la biomasa del estrato herbáceo y su relación con *Romerolagus diazi* son motivo de futuras investigaciones (Romero y Velázquez, 1996; Velázquez *et al.*, 1996).

2.3. Hábitos alimenticios

El conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*), se alimenta de gramíneas amacolladas denominadas localmente pastos o zacatones. Las principales especies de pastos identificadas como su alimento ha sido *Festuca amplissima*, *Eryngium rosei*, *Muhlenbergia macroura* y *Stipa ichu* (Cervantes, 1980; Martínez, 1987, Cervantes y Martínez, 1992; Rangel, 1996). Si la estación del año lo permite, este lagomorfo selecciona las hojas jóvenes, verdes y suaves, libres de sílice y oxalatos. Usualmente, consumen las partes cercanas a la base de las hojas y partes bajas del zacatón, lo que no solo favorece el consumo de mejores nutrientes sino también ayuda al proceso natural de que las hojas se doblen y formen un techo de cobertura densa entre los zacatones (Cervantes y Martínez, 1996b).

En este sentido Cervantes (1980) al estudiar un predio (1,225 m²) ampliamente utilizado por el conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*), cubierto de gramíneas amacolladas (*Muhlenbergia macroura* y *Stipa ichu*), determinó que este lagomorfo, consume aproximadamente el 50% del total de los zacatones presentes en el área. Se reporta que consume un macollo de *Muhlenbergia macroura* por cada 2 m² y sólo uno de *Stipa ichu* por cada 3 m², aproximadamente, aun cuando en el área existía casi el doble de individuos de *Muhlenbergia macroura*. Con estos datos se confirma la relevancia en la alimentación de estas gramíneas amacolladas para el *Romerolagus diazi* (Cervantes, 1980).

Rojas (1951; citado por Cervantes y Martínez, 1996a) reporta que además de los pastos, el zacatucho (*Romerolagus diazi*) consume hierbas como *Alchemilla sp.* y *Donnellsmithia juncea*. Asimismo, Cervantes (1980) reportó que también consumen hojas jóvenes de las herbáceas espinosas *Eryngium columnare* y *Cirsium jorullense*, y semillas de la enredadera anual *Sicyos parvijlorus* y la corteza jugosa de árboles

jóvenes de aile (*Alnus sp.*). Se ha sugerido que la menta (*Cunila lythrifolia*) es importante en el régimen alimentario del zacatuche, sin embargo, el consumo de esta planta aromática no se ha vuelto a reportar (Cervantes y Martínez, 1996a).

Cervantes (1980) observó que frecuentemente el conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*) se alimenta en campos de cultivo (Parres, volcanes Pelado y Tláloc, D. F.) sin llegar a ocasionar daños, sin embargo, algunos lugareños los han llegado a considerar como plaga, dado que durante la época húmeda del año se dispersan hacia los campos de cultivo, se establecen allí y comúnmente consumen el follaje de las plantas jóvenes de maíz (*Zea mays*), avena forrajera (*Avena sativa*), papa (*Solanum tuberosum*), chícharo (*Pisum sativum*) y haba (*Vicia faba*), principalmente.

El análisis de excretas del conejo de los volcanes ha indicado que sus fuentes de alimento principales a través de un año en su hábitat natural, fueron en ese orden: *Muhlenbergia macroura*, *Alnus jirmifolia*, *Stipa ichu*, *Buddleia parviflora*, *Lamiaceae sp.*, *Geranium sp.*, *Festuca amplissima* y *Eryngium columnare* (Martínez, 1987; Cervantes y Martínez, 1992).

2.4. Importancia ecológica de la especie

Los conejos y liebres de México tienen una gran importancia ecológica, ya que junto con los roedores representan el alimento de muchos depredadores. Los hábitos alimenticios de conejos y liebres incluyen pastos, hierbas, arbustos y algunas partes de árboles, con lo que ocasionan cambios importantes en las plantas permitiendo el control y desarrollo de sus poblaciones. Asimismo, contribuyen a la dispersión de varias especies de plantas al consumir sus semillas en un lugar y defecarlas en otro sitio diferente. Estos mamíferos también son importantes en todo el territorio nacional como fuente de alimento para los habitantes del sector rural y, además, generan ingresos a través de los permisos de cacería. En México, se cazan para el consumo humano, los conejos y liebres son los más utilizados de los (Romero y Velázquez, 1996).

El conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*) forma parte del régimen alimenticio básico de depredadores, entre los que se encuentran la comadreja (*Mustela frenata*) que es uno de los más activos, gato montés (*Lynx rufus*) y coyote (*Canis latrans*) que también son consumidores importantes (Cervantes *et al.*, 1990).

Para el caso del gato montés (*Lynx rufus*) en el Volcán Pelado, el conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*) representó el alimento más importante durante un año, pues se encontraron restos en más del 80% del total de las muestras de excretas analizadas. El coyote (*Canis latrans*) también consume zacatuche (*Romerolagus diazi*) en abundancia, en la zona del Volcán Popocatepetl y volcanes cercanos al Volcán Chichinautzin. En once de doce muestras de excretas de coyote (*Canis latrans*), se encontraron restos de zacatuche (*Romerolagus diazi*). En la región cercana al Volcán Chichinautzin, en el tracto gastrointestinal en una víbora de cascabel (*Crotalus triseratus*), se encontraron dos ejemplares de zacatuche (*Romerolagus diazi*) de 125 a 127 mm de longitud cada uno, los cuales, por su tamaño, debieron haber sido extraídos de su nido. Otros carnívoros como la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), cacomixtle (*Bassariscus astutus*), tlalcoyote (*Taxidea taxus*), halcón cola roja (*Buteo jamaicensis*) y tecolote cornudo (*Bubo virginianus*) son considerados como depredadores naturales del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*) (Cervantes y Martínez, 1996a; Romero y Velázquez, 1996).

Un problema que enfrentan las poblaciones del conejo de los volcanes es la presencia de perros y gatos ferales en su área de distribución, que ejercen una presión de depredación intensa sobre el zacatuche (*Romerolagus diazi*). Igualmente, la cacería furtiva constituye una presión negativa adicional a las poblaciones de *Romerolagus diazi* (Romero y Velázquez, 1996).

3. Área de estudio

El presente estudio se realizó en cuatro sitios donde históricamente se ha ubicado este lagomorfo, tres dentro del Parque Nacional de Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. CONANP. SEMARNAT), y una es la Estación Forestal Zoquiapan (Universidad Autónoma Chapingo, UACH).

3.1. Localización, límites y extensión

El área de estudio forma parte de la Sierra Nevada, en el Eje Neovolcánico Transversal (ENT) (Figura 4); en esta región se localizan extensas y discontinuas zonas boscosas correspondientes a los tipos de vegetación del geotrópico templado. Su variabilidad

orográfica del área, producto de su intensa historia geológica, y su posición geográfica han permitido, a través del tiempo, la presencia de diversos biomas que albergan aproximadamente al 2% de la biodiversidad del mundo (Romero y Velázquez, 1996).

El Eje Neovolcánico Transversal (Figura 4) es la zona de contacto y transición de las regiones biogeográficas del Continente Americano; la Neártica y la Neotropical (Ceballos y Galindo, 1984). Junto con la Sierra Madre del Sur, el Eje Neovolcánico Transversal es una de las principales zonas de endemismos y riqueza de especies de algunos grupos de mamíferos (Ceballos y Galindo, 1984; Fa y Morales, 1993) y de plantas (Rzedowski, 1991, 1993).

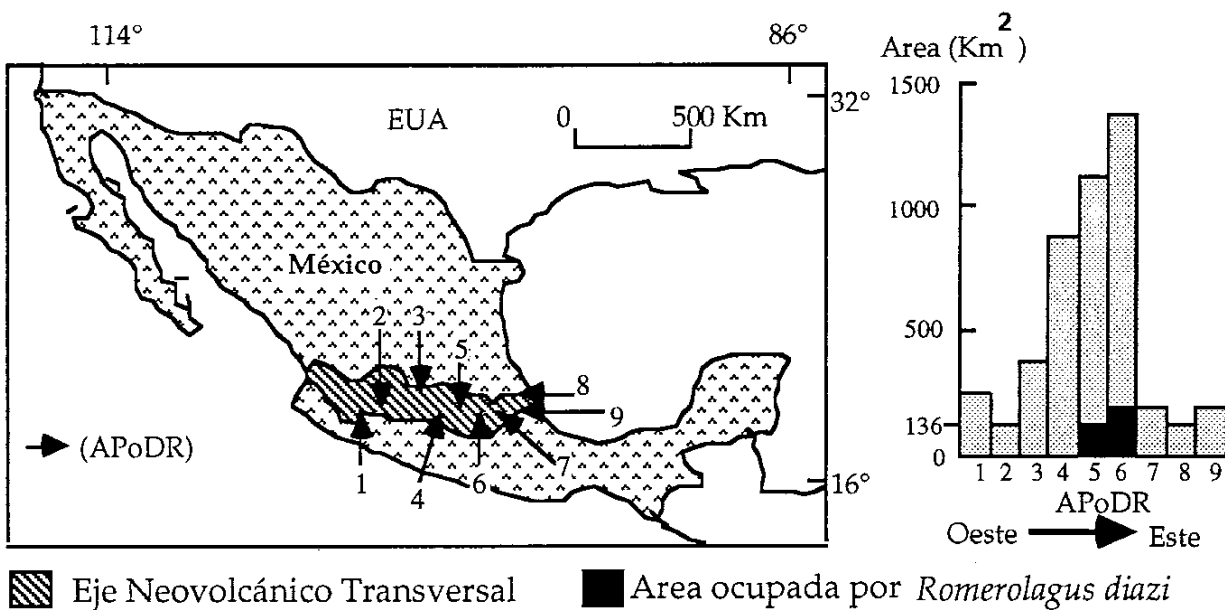


Figura 4. Eje Neovolcánico Transversal y Áreas Potenciales de Distribución de *Romerolagus diazi* (APoDR). Tomado de Velázquez *et al.* (1996).

1. Volcán Nevado de Colima; 2. Volcán Tancitaro; 3. Sierra Chincua; 4. Volcán Nevado de Toluca; 5. Sierras Chichonautzin y Ajusco; 6. Sierra Nevada; 7. Volcán Malinche; 8. Volcán Cofre de Perote; 9. Volcán Pico de Orizaba.

Debido a su compleja topografía, variabilidad de altitudes y climas, aunado a la posición geográfica del país y su historia geológica, el ENT provee un mosaico de ambientes, hábitats y microhábitats, con elementos de insularización, para un importante número de especies sedentarias y migratorias, por lo que es causal de un

gran patrón de distribución de especies (Rzedowski, 1988; Fa, 1989). Del total de mamíferos conocidos en México, el 50% se encuentra en el Eje Neovolcánico Transversal, representando el 72% de los géneros, el 79% de familias y el 90% de los órdenes de mamíferos en México (Fa, 1989).

La Sierra Nevada colinda con los siguientes municipios de los estados de México, Morelos Puebla, Tlaxcala: Amecameca, Atlautla, Calpulalpan, Chalco, Ecatzingo, Huejotzingo, Ixtapaluca, Nanacamilpa de Mariano Arista, San Nicolás de los Ranchos, San Salvador el Verde, Sanctorum de Lázaro Cárdenas, Tepetlaoxtoc, Tetela del Volcán, Texcoco, Tianguismanalco, Tlahuapan, Tlalmanalco, Tochimilco. El Parque Izta- Popo (Estado de México) y la Estación Zoquiapan (Puebla) se encuentran entre las coordenadas 18° 54' 39" a 19° 33' 00" latitud N, y 98° 31' 11" a 98° 48' 10" longitud W, el Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas tienen 257 km², y conjuntamente con la Estación Zoquiapan tienen una superficie aproximada de 1,227 km² (Arriaga *et al.*, 2000).

Los predios donde se realizó el presente estudio en el Parque Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas, se denominaron como Altzomoni, El Arco, El Pinar, Paso de Cortes y El Papayo (Figura 5).

Altzomoni (A): Se ubica en la ladera suroeste del Volcán Iztaccíhuatl, éste predio se encuentra entre las coordenadas 19° 07' 29" de latitud N y 98° 39' 00" de longitud W; este sitio presenta características de mesa basáltica y domina en él un tipo de paisaje de pastizal, , una pendiente en el paisaje igual o menor al 4%, y se encuentra entre los 3,930 y 3,990 msnm.

El Arco (EA): Este sitio se ubica en la ladera noroeste del Volcán Popocatepetl, entre las coordenadas 19° 04' 59" de latitud N y 98° 39' 15" de longitud W, cuenta con un tipo de paisaje de bosque de pino con cubierta de zacatones, la ladera se caracteriza por una pendiente igual o menor al 10%, encontrándose entre los 3,650 y 3,700 msnm.

El Pinar (EP): Se ubica en la ladera suroeste del Volcán Popocatepetl, entre las coordenadas 19° 05' 21" de latitud N y 98° 38' 11" de longitud W, cuenta con un tipo de paisaje de pastizal, con características de llanura, con un ecotono próximo a bosque de

pino y una pendiente igual o menor al 2%, este sitio se encuentra entre los 3,680 y 3,650 msnm.

Paso de Cortes (PC): Es una región que se localiza entre las coordenadas 19° 05' 09" de latitud N y 98° 38' 45" de longitud W, cuenta con un tipo de paisaje de pastizal, con características de llanura, con una pendiente igual o menor al 2%, este sitio se encuentra entre los 3,680 a 3,650 msnm.

El Papayo (PA): Se ubica entre la ladera sur del Volcán El Papayo y ladera norte de la cabeza del volcán Iztaccíhuatl, entre las coordenadas de 19° 18' 01" de latitud N y 98° 42' 05 de longitud W, se caracteriza por una planicie con un tipo de paisaje de bosque (pino-oyamel) mixto y con zacatonal, se encuentra entre los 3,218 y 3,227 msnm.

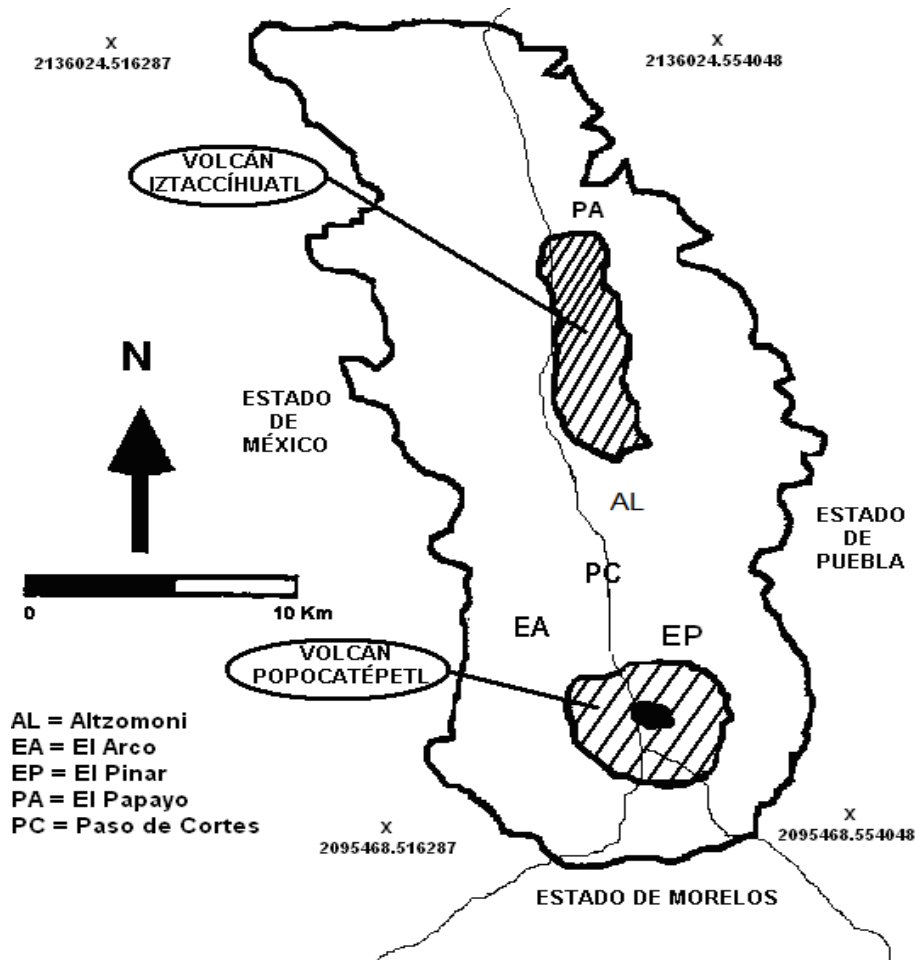


Figura 5. Ubicación de los sitios de muestreo con observaciones visuales y presencia de rastros del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*).

3.2. Vegetación

El tipo de vegetación presente en el área del Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas, ha sido descrito principalmente por Rzedowski (1988), Velázquez (1996) y Sánchez-González y López-Mata, (2003), describiendo los tipos generales de vegetación para las zonas de estudio; sin embargo, estos sitios tienen un uso de pastoreo de bovinos.

Bosque de Pino: La comunidad históricamente característica del área donde se realizó el estudio (64%), pertenecía a bosque de *Pinus hartwegii* y en una proporción más baja a *Pinus montezumae*, esto ha cambiado debido a que se está realizando un programa de reforestación basándose en *Pinus hartwegii*. Dado que el *Pinus hartwegii*, es el bosque mejor adaptado a bajas temperaturas y se ha descrito que se desarrolla entre los 3,000 y 4,000 msnm, lo que corresponde al intervalo altitudinal de las zonas de estudio que corresponde de 3,218 a 3,990 msnm.

Hacia el límite superior (3,912 msnm), es la última comunidad arbórea. La característica de este tipo de bosque se puede denominar con una densidad media, debido a que en las partes cercanas a los 3,000 msnm llegan a alcanzar hasta una altura entre 20 y 25 m, sin embargo, al aproximarse a los 4,000 msnm, se observa que la altura máxima no sobre pasa los 8 m, por lo que se considera una comunidad achaparrada. Asimismo, en menores alturas se observa bosque mixto con *Pinus montezumae*, Oyamel y Encino.

En relación al sotobosque de este bosque de pino, se constituye por gramíneas amacolladas, principalmente *Muhlenbergia*, *Festuca* y *Stipa ichu*.

Bosque de oyamel: La especie que se encuentra presente en las áreas de estudio (12%), corresponde a *Abies religiosa*, se caracteriza por bosque de alta montaña, que se localiza entre los 2,400 y 3,600 msnm, se desarrolla en áreas abruptas y protegidas de vientos fuertes, estas comunidades requieren una alta humedad durante la totalidad del año, así como de suelos profundos y bien drenados, en las zonas de estudio se pueden identificar árboles con una altura entre 25 a 35 m, observándose los siguientes estratos: Para el estrato arbóreo se ubica principalmente a *Abies religiosa*;

Bosque mixto: Este no está dominado por una sola especie arbórea, se observan principalmente pinos (*Pinus hartwegii* y *Pinus montezumae*) y oyamel (*Abies religiosa*), para los sitios de estudio este tipo de bosque sólo se encuentra en el predio de Zoquiapan, esto se presume a que es el sitio de menor altitud, dado que se encuentra entre los 3,200 y 3,300 msnm, correspondiendo a lo indicado por Rzedowski (1991, 1993). Asimismo este tipo de bosque ocupa sólo el 7% de la Sierra Nevada (Arriaga *et al.*, 2000).

Pastizal y arbustivas: En el área de estudio constituyen principalmente el sotobosque, además de que dependiendo de la altitud son la vegetación representativa presente en sitios a partir de los 3,800 msnm, pero también se establecen en llanuras acumulativas, un sitio representativo de esta característica del pastizal es Paso de Cortes, aunque esta zona es una zona de vaguada. Los principales miembros de la vegetación representativa para esta zona consiste: *Cirsium jorullense*, *Eryngium sp.*, *Festuca toluensis*, *Lupinus sp.*, *Muhlenbergia macroura*, *Stipa ichu* y *Trifolium amabile*, principalmente (Rzedowsky, 1988; Isleve y Velázquez, 1994; Silva *et al.*, 1999; Rodríguez y Fulé 2003; Sánchez-González y López-Mata, 2003; García-Romero, 2004).

3.3. Clima

Los tipos de clima presentes en las zonas de estudio corresponden, según la clasificación de Köppen (García, 1981), a las siguientes categorías:

Cb'(w2): En un 88% en la zona corresponde a templado, semifrío, con verano fresco, temperatura media anual entre 5°C y 12°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, menos de cuatro meses con temperatura mayor a 10°C, subhúmedo, precipitación anual entre 200 y 1,800 mm y precipitación en el mes más seco de 0 a 40 mm; lluvias de verano del 5 al 10.2% anual.

C(w2): En un 10% de la zona es templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C, subhúmedo, precipitación anual de 200 a 1,800 mm y precipitación en el mes más seco de 0 a 40 mm; lluvias de verano del 5 al 10% anual.

C(w2)x': En un 2% de la zona es templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente 22°C, subhúmedo, precipitación anual de 200 a 1,800 mm y precipitación en el mes más seco de 0 a 40 mm; lluvias de verano mayores al 10% anual (García, 1981).

3.4. Actividades humanas

Dentro del parque no existen poblaciones; sin embargo, las poblaciones aledañas manifiestan un crecimiento demográfico, teniendo un impacto importante sobre el área protegida. La tenencia de la tierra se categoriza de la siguiente manera: federal, 14,000 ha, representando el 55% y en posesión de sus dueños, no identificada, 11,679 ha, correspondiendo al 45% (Vargas, 1997).

4. Literatura citada

- Aranda, M. 2000. Huellas y otros rastros de los mamíferos grandes y medianos de México. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Estudio de la Biodiversidad (CONABIO). México DF.
- Arriaga, L., J. M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez, y Loa E. (coordinadores). 2000. Sierra Nevada. Regiones Terrestres Prioritarias para la Conservación de México. RTP-107. Comisión Nacional para el Estudio de la Biodiversidad. pp. 1-3. Disponible en línea en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rtp_107.pdf. Consultado el 5 de julio del 2007.
- Campos, M. R., M. X. Ramos, S. F. Gual, y S. A. Medina. 2001. Determinación de parámetros morfológicos externos en el teporingo (*Romerolagus diazi*) en el Zoológico de Chapultepec, México, D.F. Memoria VIII Simposio sobre Fauna Silvestre "Gral. M. V. Manuel Cabrera Valtierra" XVIII Congreso de AZCARM. 3er. Encuentro de UMAS. México D.F. pp. 149-159.
- Ceballos, G., y C. Galindo. 1984. Mamíferos silvestres de la Cuenca de México. Editorial LIMUSA. México DF. pp. 300.
- Ceballos, G., B. Vieyra, and J. Ramírez-Pulido. 1998. A recent record of the volcano rabbit (*Romerolagus diazi*) from the Nevado de Toluca, State of Mexico. Rev. Mex. Mastozool. 3:149-150.

- Cervantes, R. F. A. 1980. Principales características biológicas del conejo de los volcanes *Romerolagus diazi*, Ferrari Pérez 1893 (Mammalia: Lagomorpha), Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias (Biología). Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp 137.
- Cervantes, R. F. 1982. Observaciones sobre la reproducción del zacatucho o teporingo *Romerolagus diazi* (Mammalia: Lagomorpha). Doñana Acta Verte. 9: 416-420.
- Cervantes, R. F. A., C. Lorenzo C., and R. S. Hoffmann. 1990. *Romerolagus diazi*. Mammal. Spec., 360:1-7.
- Cervantes, F. A., and J. Martinez. 1992. Food habits of the rabbit *Romerolagus diazi* (Leporidae) in central México. J. Mammal. 73:830-834.
- Cervantes, F. A., y V. J. Martínez. 1996a. II. Historia natural del conejo zacatucho o teporingo (*Romerolagus diazi*). En: Velázquez A., Romero F. J, y López-Paniagua J. (Comp.). Ecología y conservación del conejo zacatucho y su hábitat. Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica, México D.F. pp. 29-40.
- Cervantes, F. A., y V. J. Martínez. 1996b. III. Morfología, taxonomía y sistemática del conejo zacatucho. En: Velázquez A., Romero F. J, y López-Paniagua J. (Comp.). Ecología y conservación del conejo zacatucho y su hábitat. Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica, México, D.F. pp. 29-40.
- Chapman, J. A., and J. E. C. Flux. 1990. Introduction and overview of the order Lagomorpha. Chapter 1. In: Rabbits, Hares and Pikas. Status Survey and Conservation, Action Plan. Compiled and edited by Joseph A. Chapman and John E.C. Flux. IUCN/SSC Lagomorph Specialist Group. UICN Gland. Switzerland. pp. 1-6.
- Contreras, M. J. L., M. E. Moya, y G. Ávila. 1989. Las heces de *Romerolagus diazi*, como indicadores en la determinación de su distribución. VIII Simposio sobre Fauna Silvestre. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. pp 112-117.
- Cuevas, C. C. 2008. La historia de un nombre (*Romerolagus diazi* Ferrari Pérez) y el poder en la ciencia. Rev. Herreriana. 4:27-29.
- Fa, J. A. 1989. Conservation-motivated analysis of mammalian biogeography in the Trans-Mexican Neovolcanic Belt. Nat. Geograph. Res. 5:296-316.
- Fa, J. A., and L. M. Morales. 1993. Mammals of Mexico: prioritizing diversity. En: Biological Diversity of Mexico: origins and distribution. Ramamoorthy T. P., Bye R., Lot A., and Fa J. (Eds.). Oxford University Press. pp 319-361.

- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen. Instituto de Geografía UNAM. México D.F. pp. 252.
- García-Romero, A. 2004. Dinámica del paisaje post-fuego en el pastizal tropical de alta montaña. Volcán Iztaccíhuatl, México. *Interciencia* 29:604-611.
- Hibbard, C. W. 1963. The origin of the P₃ pattern of *Sylvilagus*, *Caprolagus*, *Oryctolagus* and *Lepus*. *J. Mammal.* 44:1.15.
- Hoth, J., A. Velazquez, F. J. Romero, L. Leon, M. Aranda, and D. J. Bell. 1987. The volcano rabbit – a shrinking distribution and threatened habitat. *Oryx* 21:85-91.
- Leopold, A. S. 2000. Orden Lagomorpha. Parte III. Los mamíferos de casa y piel. *En: Fauna Silvestre de México. Aves y mamíferos de casa. Segunda edición.* Editorial PAX México. pp. 391-410.
- López-Forment, W., and R. F. Cervantes. 1981. Preliminary observations on the ecology of *Romerolagus diazi* in Mexico. *En: Myers, K. y MacInnes, C. D. (Comp.), World Lagomorph Conference.* University of Guelph. Guelph Ontario Canada. pp. 949-955.
- Martínez, V. J. 1987. Estudio sobre la variación estacional de la dieta del Zacatuche o Teporingo, *Romerolagus diazi*, (Mammalia: Lagomorpha). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias (Biología). México D.F. pp 56.
- Matsuzaki, T., M. Kamiya, H. Suzuki, T. Nombra, y A. Velázquez. 1996. IV. Reproducción en el laboratorio del conejo zacatuche. *En: Velázquez A., Romero F. J., y López-Paniagua J. (Comp.). Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat.* Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica, México D.F. pp. 73-86.
- Merriam, C. H. 1897. *Romerolagus nelsoni*, a new genus and species of rabbit from Mt. Popocatepetl, Mexico. *Proc. Biol. Soc. Wash.* 10:169-174.
- Ramírez-Pulido, J., y C. Mudespacher. 1987. Estado actual y perspectivas del conocimiento de los mamíferos de México. *Ciencia* 38:49.67.
- Rangel, C. R. 1996. Descripción y uso de hábitat de *Romerolagus diazi*: Efecto del fuego sobre el zacatonal alpino del volcán Iztaccíhuatl. México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias (Biología). México D.F. pp. 75.
- Rodríguez, D. A., and P. Z. Fulé. 2003. Fire ecology of mexican pines and a fire management proposal. *Internat. J. Wildland Fire.* 12:23-37.

- Romero, F. J., y A. Velázquez. 1996. El conejo zacatucho. Tan lejos de Dios y tan cerca de la ciudad de México. Instituto Nacional de Ecología-Consejo Nacional de la Fauna. México D.F. México. pp. 31.
- Rzedowski, J. 1988. Vegetación de México. Ed. Limusa. México. 432 pp.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Bot. Mex.* 14:3-21.
- Rzedowski, J. 1993. Diversity and origins of the phanerogamic flora of Mexico. *En: Ramamoorthy, T. P., Bye, R., Lot, A., and Fa, J. (Eds.). Biological Diversity of México: origins and distribution.* Oxford University Press. pp 129-144.
- Sánchez-González, A., y L. López-Mata. 2003. Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Ann. Inst. Biol. Serie. Botánica. UNAM.* 74:47-71.
- Silva, L., F. J. Romero, A. Velázquez, y L. Almeida-Leñero. 1999. La vegetación de la región de la montaña del sur de la cuenca de México. *En: Velázquez A, Romero F.J. (Comp.) Biodiversidad de la región de montaña del sur de la cuenca de México.* Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco-Secretaría del Medio Ambiente. México Gobierno del Distrito Federal. pp. 66-95.
- Uribe-Alcocer, M. 1977. Estudios citogenéticos en algunas especies de roedores y lagomorfos de México. Tesis de Doctorado (Biología). Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. pp. 169.
- Vargas, M. F. 1997. Parque Nacional Iztaccíhuatl. *En: Parques Nacionales de México. Volumen I: Zonas Centro, Occidente y Oriente.* Instituto Nacional de Ecología (INE). Secretaría de Recursos Naturales, Medio Ambiente y Pesca (SEMARNAP). pp. 112-158.
- Velázquez, M. A. 1984. Estudio sobre la muda del pelaje en el zacatucho (*Romerolagus diazi*). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias (Biología). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. pp. 94.
- Velázquez, A. 1994. Distribution and population size of *Romerolagus diazi* on El Pelado volcano. *Mexico. J. Mammal.* 75:743-749.
- Velázquez, A., F. J. Romero, y L. León. 1996. VI. Fragmentación del hábitat del conejo zacatucho. *En: Velázquez A., Romero F. J, y López-Paniagua J. (Comp.) Ecología y conservación del conejo zacatucho y su hábitat.* Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica, México, D.F. pp. 73-86.

Velázquez, A., B. Bocco, F. J. Romero, and V. A. Pérez. 2003. A landscape perspective on biodiversity conservation: The case of central Mexico. *Mount. Res. Develop.* 23:240-246.

Capítulo II

Estimación del tamaño de población y densidad del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*)

1. Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo estimar el tamaño poblacional, la densidad y la determinación del ámbito hogareño del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*) y cambios de éstas, bajo distintos tipos de unidades ambientales a lo largo del año, en el Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas, del invierno del 2003-2004 al invierno del 2004-2005. Dentro de esta área natural protegida (ANP) se evaluaron cuatro sitios con presencia de este lagomorfo: Altzomoni (AL), El Pinar (EP), El Arco (EA), y El Papayo (PA). Los paisajes y la altura media sobre el nivel del mar de cada una correspondieron a: planicie basáltica, zacatón y 3,957 m (AL); ladera, pino-zacatón y 3,682 m (EP); ladera, pino-zacatón y 3,641 m (EA); y ladera, pino-oyamel-zacatón y 3,423 m (PA), respectivamente. La estimación de la abundancia se realizó por conteo de excretas. Los ámbitos hogareños fueron de 11.6 ha para AL, 10.0 ha para EP, 6.5 ha para EA y 6.9 ha para PA. Se encontró un mayor número de letrinas en AL (115 ± 1.9) y al final del estudio no se encontraron en PA (0.00 ± 0.0) y el número de excretas por letrina mostró la misma tendencia. En el verano de 2004 se observaron menos excretas (78.2 ± 4.0) y en invierno el mayor número 2003-2004 (110.8 ± 6.7). La mayor densidad encontró en EA (173.7 a 145.8 conejos/ha) y la menor en El Papayo (123.8 a 0 conejos/ha), sin embargo, el mayor número de conejos se estimó que se encuentran en AL (1677.5 a 1109.0 conejos) y el menor en PA (0 conejos). Se concluye que el sitio con mayor abundancia es El Pinar (173.7 a 145.8 conejos/ha), que corresponde a un paisaje del tipo de ladera con una diversidad vegetal de zacatón (*Festuca tolucensis*) y pino, mientras el mayor número de conejos se encontraron en Altzomoni (1677.5 a 1109.0 conejos), el cual tiene una diversidad vegetal

correspondiente a zacatón de altura (*Muhlenbergia macroura*) y pino, con una planicie basáltica.

Palabras clave: *Romerolagus diazi*, conejo de los volcanes, excretas, letrinas, abundancia, Parque Nacional Izta-Popo.

2. Abstract

The present study had the objective to estimate the population size and the relative abundance of the volcano rabbit (*Romerolagus diazi*) and their changes, under different types from landscape in the different seasons of the year, in the zone of the National Park Izta-Popo, Zoquiapan and surroundings, during the period of the winter 2003-2004, to winter 2004-2005. Within this Natural Protected Area (NPA) four sites were evaluated with presence of this lagomorph: Altzomoni (AL), The Pine (EP), The Arc (EA), and El Papayo (PA). The landscapes corresponded to: basaltic plain, grasses “zacaton” and 3957 meters (AL); slope, pine- grasses “zacaton” and 3682 meters (EP); slope, pine-grasses “zacaton” and 3641 meters (EA); and slope, pine-fir-grasses “zacaton” and 3423 meters (PA), respectively. Abundance estimation was based on fecal counts. The home range were: 11.617 h for AL, 10.037 ha for EP, 6.508 ha for EA, and 6.880 ha for PA. It was found a greater number of latrines in AL (115 ± 1.9) and the smaller in PA (0.00 ± 0.0), and in the number of excretas by latrine followed the same tendency. In the summer 2004 were observed less excretas (78.175 ± 4.05) whereas in Winter 2003-2004 the highest number (110.825 ± 6.72). The greater abundance was in EP (173.75 to 145.80 rabbits/ha) and the minor in PA (123.82 to 0 rabbits/ha), without however, the greater number of rabbits was estimated that are in AL (1677.50 to 1108.98 rabbits) and the minor in PA (0 rabbits). It was concluded that the site with greater abundance is The Pine (173.75 to 145.80 rabbits/ha), which corresponds to a landscape with slopes and vegetal diversity of “zacaton” grasses (*Festuca toluensis*) and pine, while the greater number of rabbits was found in Altzomoni (1677.50 to 1108.98 rabbits), which has a vegetal diversity with *Muhlenbergia macroura* grasses (zacaton) and pine, with a basaltic plain.

Key words: *Romerolagus diazi*, volcano rabbit, pellet, latrines, abundance, population size, Izta-Popo National Park

3. Introducción

Existen varios métodos para el estudiar y estimar de la densidad y abundancia de especies de fauna silvestre; las metodologías más se basan en la obtención de dos tipos de datos (directos e indirectos) que se obtienen en campo (Painter *et al.*, 1999).

Específicamente para estimar la densidad de lagomorfos se han usado principalmente los métodos de trampeo, conteo directo de individuos, conteo de excretas, conteo de letrinas, conteo de madrigueras y captura/recaptura (Taylor y Williams, 1956; Krebs *et al.*, 1987; Novaro *et al.*, 1992; Velázquez, 1994; Moller *et al.*, 1996; Forsy y Humphrey, 1997; Palomares, 2001; Prugh y Krebs, 2004; Krebs, 2006). Por ejemplo, Krebs *et al.* (1987) estimaron la densidad de población de liebres de pies de raqueta (*Lepus americanus*) por medio de transectos. Por otra parte, en el Parque Nacional Doñana (España) se estimó la abundancia de conejos europeos (*Oryctolagus cuniculus*) por medio de transectos, conteo de excretas y conteo de letrinas, indicando que el conteo de excretas es el método que bajo sus condiciones de estudio, se acerca a la abundancia real (Palomares, 2001).

Asimismo, existen estudios en los que se comparan algunos métodos para la estimación de la abundancia relativa, éstos se han basado sobre la tasa de defecación de animales. Como ejemplo se encuentra el reporte realizado por Arnold y Reynolds (1943) por medio de la colecta y conteo de excretas, estimaron la tasa de defecación de *Lepus californicus eremicus* y de *Lepus alleni alleni*. Además, es importante considerar que la tasa de defecación puede verse influida por la presencia de otras especies simpátricas, ya sean lagomorfos o no (Hulbert y Andersen, 2001). Con relación a la comparación de métodos (conteo de excretas, trampeo y telemetría) para estimar la abundancia en lagomorfos, al comparar la abundancia del conejo de los pantanos (*Sylvilagus palustris hefneri*) usando trampeo y telemetría se reportó que estas técnicas tienen una alta correlación ($r^2 = 0.99$; $P < 0.0001$), mientras que al comprar la técnica de telemetría y con el conteo de excretas, se obtuvo una correlación un poco más baja, pero también significativa ($r^2 = 0.89$; $P < 0.0001$), por lo que se concluye que el uso de estos métodos es igualmente válido dado que se acercan a los valores reales de abundancia, sin embargo, la selección de cada uno de estos métodos

dependerá de la biología y el hábitat ocupado por la especie que se esté estudiando, así como de las condiciones económicas en las cuales se realice la investigación (Forys y Humphrey, 1997).

Para el caso del *Romerolagus diazi* se han detectado dieciséis zonas con presencia de rastros; este reducido número de zonas se debe a que su hábitat ha sido fraccionado en un período relativamente corto a causa de actividades humanas diversas (p.ej., crecimiento de la Ciudad de México y zonas conurbadas, pastoreo, incendios naturales e inducidos y tala, principalmente clandestina) (Romero y Velázquez, 1996).

Dado que el *Romerolagus diazi* tiene hábitos cursoriales y un ámbito hogareño que no excede de 2,500 m², forma letrinas, grupos familiares y colonias (Cervantes 1980, Cervantes *et al.*, 1990), establece territorialidad, tanto con otros lagomorfos, como con otras especies (Cervantes, comunicación personal, 2006), por lo que difiere en este comportamiento de otros lagomorfos, que no tienen comportamiento social (Chapman y Flux, 1990) y no forman letrinas (Litvaitis *et al.*, 1985; Krebs *et al.*, 1987; Moller *et al.*, 1996; Palomares *et al.*, 1996; Krebs *et al.*, 2001; Palomares, 2001), por estas características se tomo la decisión no usar transectos como se ha aplicado para esta misma especie (Velázquez *et al.*, 1996) y otros estudios en lagomorfos (Litvaitis *et al.*, 1985; Novaro *et al.*, 1992; Palomares *et al.*, 1996; Krebs *et al.*, 2001; Palomares, 2001),

Los datos más recientes sobre la densidad de las poblaciones del *Romerolagus diazi* fueron publicados por Velázquez (1994) para el área del volcán El Pelado (Tlapan, Distrito Federal, México), quien utilizó transectos y datos indirectos, para cuantificar al densidad poblacional (número de excretas y cantidad de letrinas presentes); específicamente, para el periodo de 1986-1989 el tamaño de la población fluctuó entre 2,478 a 12,120 individuos, con una media de 6,488 animales, obteniendo una media de densidad de 1.279 animal/ha y 0.739 animal/ha, para la superficie de 83 km² y 48 km² respectivamente, la primera corresponde a la superficie total del volcán El Pelado y la siguiente al área donde el hábitat reúne las características para que se encuentre la especie.

El objetivo de este estudio fue realizar estimaciones de la densidad del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*) en colonias localizadas en diferentes tipos comunidades vegetales, dentro del Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas.

4. Material y métodos

4.1. Área de estudio

El estudio se realizó en el Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas, y su área de influencia; ésta es una Área Natural Protegida (ANP) que se encuentra en la Sierra Nevada ubicada en la región central del Eje Neovolcánico Transversal (Figura 4). Sus coordenadas extremas son 18° 54' 39" y 19° 33' 00" de latitud N, y 98° 31' 11" a 98° 48' 10" de longitud W; se sitúa aproximadamente a 45 km al oriente de la Ciudad de México, con una extensión de alrededor de 256 km², con altitudes por arriba de los 3,600 msnm.

Los sitios se caracterizan por ser: zacatonal alpino, siendo zacatonal homogéneo y muy denso distribuido entre los 3,900 y los 4,130 msnm, sin embargo, se observan indicios de quema y pastoreo; Bosque de pino de altura: Pinar abierto de amplia distribución con un estrato herbáceo denso y homogéneo. Se localiza entre los 3,120 y 3,840 msnm. Vegetación perturbada por pastoreo y quema; zacatonal inducido en bosque de pino: entre los 3,090 y los 3,620 msnm. El estrato arbóreo es homogéneo, denso y dominando al igual que el estrato herbáceo, aunque éste en mayor proporción a manera de parches, observándose indicios de pastoreo extensivo (Velázquez *et al.*, 1996; Arriaga *et al.*, 2000). Para el caso de laderas y exposición, se consideró la clasificación donde la ladera constituye la parte inclinada de la superficie, delimitando formas positivas y negativas, se identificaran tres tipos, en función de la pendiente. Abrupta (más de 35%), media (entre 14 y 35%) y suave (menos de 14%) (Lugo, 1984).

4.2. Metodología

Entre septiembre del 2003 y marzo del 2005, en sitios caracterizados por diferente tipo de paisaje se estimó la abundancia del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*), usando la técnica indirecta de conteo de excretas (Novaro *et al.*, 1992; Velázquez 1994; Forsy y Humphrey 1997, Palomares, 2001). Los sitios fueron visitados cada

quince días para observar si las letrinas se encontraban en uso (presencia de excretas recientes) y a partir de la tercera visita las deposiciones fueron recolectadas (Cervantes y Martínez, 1996). Tres de los sitios con presencia de rastros de *Romerolagus diazi* se encuentran dentro del ANP (Altzomoni, El Arco y El Pinar) y una en su área de influencia (El Papayo).

4.3. Conteo de excretas

En septiembre del 2003, cada una de las letrinas fueron geoposicionadas (GPS, Garmin®, Legend *etrex*) y se removieron la totalidad de las excretas, para determinar si los animales regresaban o no a defecar en las mismas letrinas. Sin embargo, se observó que al remover la totalidad de las excretas, cerca de un 50% de los animales dejaban de usar la letrina y establecían una nueva; por lo tanto se utilizó la estrategia propuesta por Palomares (2001) de dejar algunas (diez) excretas frescas, lo que previno su abandono en un 85% de los casos. Posteriormente, iniciando en diciembre del 2003 la remoción de excretas se llevó a cabo cada quince días. Asimismo, se tomó en cuenta, para que se considere una letrina como funcional, esta deberá de contener por lo menos 50 excretas en una superficie de 0.25 m² (Cervantes 1980, Cervantes *et al.*, 1990), haciendo notar que la presencia de excretas difiere entre hábitats y estacionalmente (Iborra y Lumaret, 1997; Palomares *et al.*, 1996; Palomares, 2001).

4.4. Ámbito hogareño

Para estimar el área del ámbito hogareño, esta se realizó por medio del establecimiento de los polígonos y para determinar la superficie (ha) de éstos, se usaron los datos de las geoposiciones de las letrinas como puntos centrales y por medio de sistema de información geográfica, se tomaron 100 m² a partir del perímetro de la colonia para determinar el área de la colonia, además se establecieron de tres diferentes distancias al perímetro de la colonia (1,000 m², 500 m², y 100 m²; Anexos), esto debido a que se han reportado como ámbitos hogareño 2,500 m² (Cervantes 1980; Cervantes *et al.*, 1990).

4.5. Estimación de densidad

La estimación de la densidad se realizó por el método indirecto de conteo de excretas (Arnold y Reynolds, 1943; Novaro *et al.*, 1992; Forsy y Humphrey, 1997), modificado para ajustarlo a las características de la especie y sus hábitats.

La unidad de muestreo fue la letrina funcional (≥ 50 excretas en 0.25 m^2), asimismo no se tomaron en cuenta madrigueras, ya que como se ha indicado este lagomorfo puede ocupar madrigueras que no haya construido, por lo que no tienen una característica que pudiera identificarla como de *Romerolagus diazi*, sin embargo, se tomó esta determinación debido a que estas no están totalmente visibles, debido a que la mayor parte de sus accesos se encuentran en la base de las gramíneas amacolladas y no siempre se encuentran expuestas (Cervantes 1980; Cervantes *et al.*, 1990; Cervantes y Martínez, 1996).

Para determinar el ámbito hogareño de la colonia, este correspondió a un radio del 100 m dentro del polígono donde ese geoposicionaron las letrinas, por lo que se estableció como unidad de muestreo (UM) a cada letrina geoposicionada, en sitios donde por lo menos contara con 10 letrinas funcionales, y que estas letrinas formaran parte de una colonia, la cual se determinó como sitios que tuvieran una densidad de letrinas de 1 letrina/ 36 m^2 , estas determinaciones se realizaron basados en el análisis previo de densidad de letrinas en los sitios con presencia de rastros y correspondió a los datos de medias de densidad de letrinas ($\mu = 33.87 \text{ m}^2/\text{letrina}$) dentro de los polígonos con presencia de *Romerolagus diazi*, por lo que se tomó la media ($\mu = 33.87 \text{ m}^2/\text{letrina}$) más dos desviaciones estándar ($DE = 1.08 \times 2 = 2.16$), por lo que se determinó el valor de 36 m^2 ($\mu + DE$; $33.87 \text{ m}^2/\text{letrina} + 2.16 = 36.03 \text{ m}^2/\text{letrina}$).

Ya determinada la UM, se aplicó la siguiente ecuación para estimar densidad de *Romerolagus diazi* (Arnold y Reynolds, 1943; Novaro *et al.*, 1992; Forsy y Humphrey, 1997):

$$\delta = ([10,000 \text{ m}^2/\text{ha}] * \mu) / (P * T * A)$$

donde:

δ = densidad de los conejos (conejos/ha); μ = media del número de excretas/unidad de muestreo; P = tasa de defecación (No. de las excretas/conejo/día); T = tiempo entre los periodos de muestreo; A = superficie de cada unidad de muestreo (m^2).

Para estimar la persistencia o tasa de defecación diaria de excretas se utilizó la siguiente fórmula (Palomares *et al.* 1996; Palomares 2001):

$$PDE = (NFE/NIE)^{1/ND} \quad (1)$$

donde:

PDE = persistencia diaria de excretas; NFE = número final de excretas; NIE = número inicial de excretas (10 en este estudio); ND = número de días entre colecta.

Dado que para el *Romerolagus diazi* no existen reportes sobre su tasa de defecación, esta se estimó a la par del estudio de Sánchez (2009).

4.5. Análisis estadístico

Para determinar si existían diferencias significativas en el tiempo de producción de excretas en campo entre los períodos se aplicó una prueba de medias de Tukey (Palomares *et al.* 1996; Palomares 2001). Para cumplir con la condición de normalidad, se transformó el número de excretas mediante la fórmula $\log(X + 0.001)$, en este caso no se realizó la correlación entre PDE y la precipitación pluvial, pero se postulaba que podría existir un factor de corrección entre el número de excretas con la digestibilidad de los ingredientes de la dieta. Usando el procedimiento GLM del SAS (2001) para los análisis estadísticos.

5. Resultados

5.1. Asociación vegetal y altura sobre el nivel del mar

En la mayor parte de los sitios muestreados el tipo de vegetación más constante fue el zacatón (Cuadro 1), siendo las principales gramíneas amacollas la *Muhlenbergia macroura* (en Altzomoni) y *Festuca tolucensis* (en El Pinar, El Arco, y El Papayo).

Cuadro 1. Características del paisaje, asociación vegetal, y altura media sobre el nivel del mar de los sitios.

Sitio	Paisaje ¹	Asociación vegetal	Altura media ²
Altzomoni	Planicie-basáltica	Zacatón	3957.42
El Pinar	Ladera	Pino-Zacatón	3682.61
El Arco	Ladera	Pino-Zacatón	3641.62
El Papayo	Ladera	Pino-Oyamel-Zacatón	3423.30

¹ De acuerdo a Lugo (1984). ² Metros sobre el nivel del mar.

5.2. Ámbito hogareño

Los resultados para la estimación del ámbito hogareño (Cuadro 2) mostraron una mayor superficie para Altzomoni (11.617 ha), mientras el menor correspondió a El Arco (6.508), a su vez esta tendencia se pudo observar cuando la estimación se amplió a 1,000 m², donde los valores para Altzomoni alcanzan 385.260 ha y en El Arco 342.348 ha.

Cuadro 2. Superficie (ha) de los polígonos de las áreas de estudio, tomando en cuenta distintas superficies de los polígonos (1,000 m², 500 m², y 100 m²).

Sitio	Polígonos		
	1,000 m ²	500 m ²	100 m ²
Altzomoni	385.260	115.514	11.617
El Pinar	369.595	107.419	10.037
El Arco	342.348	93.257	6.508
El Papayo	345.671	94.955	6.880

5.3. Unidades de muestreo

Las unidades de muestreo (Cuadro 3) fueron analizadas por época del año; se obtuvieron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre Altzomoni y el resto de los sitios,

coincidiendo que en Altzomoni es donde se encontraban mayor número de unidades de muestreo, en relación al resto de los sitios, esta tendencia se mantuvo en todas las estaciones del año que fueron evaluadas.

A su vez se observa que en El Papayo, a partir del invierno del 2004-2005, no se detectaron letrinas y excretas debido a que en la etapa final de la época de lluvias del 2004, se realizaron actividades de reforestación en esta zona, las que posiblemente causaron perturbación sobre la colonia, tanto por la presencia de humanos, basura y además de que se destruyeron las madrigueras, pudiendo asumir que estas perturbaciones causaran algún movimiento de la colonia, sin embargo, al buscar esta colonia, no se pudo ubicar en un perímetro de 3 km², a su vez hay que observar los resultados de capacidad nutricional de carga, reportados en este mismo documento.

Cuadro 3. Relación de unidades de muestro (número de letrinas; $\mu \pm EE$) por estación en cada sitio con presencia de *Romerolagus diazi*.

Estación	Sitio			
	Altzomoni	El Pinar	El Arco	El Papayo
03-04 I	115 \pm 1.9 ^a	69 \pm 0.2 ^b	66 \pm 0.4 ^b	59 \pm 0.4 ^b
04 P	98 \pm 0.6 ^a	51 \pm 0.2 ^b	57 \pm 0.9 ^{ab}	47 \pm 0.4 ^b
04 V	95 \pm 0.3 ^a	55 \pm 0.8 ^b	60 \pm 0.3 ^b	42 \pm 0.8 ^{bc}
04 O	107 \pm 1.3 ^a	62 \pm 0.4 ^b	60 \pm 0.1 ^b	32 \pm 0.4 ^c
04-05 I	101 \pm 1.1 ^a	66 \pm 0.1 ^b	62 \pm 0.8 ^b	0 \pm 0.0 ^c

^{abc} Literales distintas en la fila son diferentes ($P < 0.05$)

03-04 I = Invierno 03-04; 04P = Primavera; 04 V = Verano 04;

04 O = Otoño 04; y 04-05 I = Invierno 04-05.

5.4. Muestreo y conteo de excretas

Se establecieron dos criterios para el conteo de excretas. El primero fue calcular la media de las excretas por estación del año (Cuadro 4B) y el segundo, determinar la

media de excretas por sitio (Cuadro 5B). Respecto a la estación del año (Cuadro 4), no se observaron diferencias significativas ($P > 0.10$) para Altzomoni entre la primavera, otoño del 2004 e invierno del 2004-2005, mientras que sí las hay entre el invierno del 2003-2004 (161.4 ± 13.9) y el verano del 2004 (106.7 ± 8.3) ($P < 0.05$). Para El Pinar y El Arco, el número de excretas colectadas tuvieron el mismo comportamiento con relación a la época del año, ya que no hubo diferencias ($P > 0.10$) entre la primavera del 2004 e invierno del 2004-2005, mientras que entre el invierno del 2003-2004 y el otoño del 2004, se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) con el verano del 2004. En el Papayo en el invierno del 2003-2004 y el otoño del 2004, se observaron diferencias ($P < 0.05$) con el resto de las estaciones

Cuadro 4. Media del número de excretas ($\mu \pm EE$) por estación de cada sitio con presencia de *Romerolagus diazi*.

Estación	Sitio			
	Altzomoni	El Pinar	El Arco	El Papayo
03-04 I	161.4 ± 13.9^a	108.8 ± 5.4^a	93.6 ± 5.2^a	79.5 ± 2.4^a
04 P	136.6 ± 10.6^{ab}	91.3 ± 3.9^{ab}	80.0 ± 4.2^{ab}	68.0 ± 1.4^b
04 V	106.7 ± 8.3^b	81.7 ± 3.3^b	71.1 ± 2.8^b	53.2 ± 1.8^c
04 O	153.5 ± 11.3^{ab}	106.0 ± 4.1^a	95.2 ± 4.4^a	81.9 ± 1.4^a
04-05 I	133.1 ± 9.0^{ab}	94.4 ± 3.8^{ab}	85.9 ± 4.1^{ab}	00.0 ± 0.0^d

^{abcd} Literales distintas en la columna son diferentes ($P < 0.05$)

03-04 I = Invierno 03-04; 04P = Primavera; 04 V = Verano 04;

04 O = Otoño 04; y 04-05 I = Invierno 04-05.

Al analizar (Cuadro 5) por estación del año, se observó que para todas las estaciones del año hay diferencias ($P < 0.05$) entre Altzomoni con el resto de los sitios, así como también para El Papayo en el verano del 2004 y el invierno del 2004-2005, esto último debido a la desaparición de la colonia.

Cuadro 5. Conteo de excretas de *Romerolagus diazi* ($\mu \pm EE$) por sitio y estación del año.

Sitio	Estación				
	03-04 I	04 P	04 V	04 O	04-05 I
Altzomoni	161.4 \pm 13.9 ^a	136.6 \pm 10.6 ^a	106.7 \pm 8.3 ^a	153.5 \pm 11.3 ^a	133.1 \pm 9.1 ^a
El Pinar	108.8 \pm 5.4 ^b	91.3 \pm 3.9 ^b	81.7 \pm 3.3 ^b	106.0 \pm 4.1 ^b	94.4 \pm 3.8 ^b
El Arco	93.6 \pm 5.2 ^b	80.0 \pm 4.2 ^b	71.1 \pm 2.8 ^b	95.2 \pm 4.4 ^b	85.9 \pm 4.1 ^b
El Papayo	79.5 \pm 2.4 ^b	68.0 \pm 1.4 ^b	53.2 \pm 1.8 ^c	81.9 \pm 1.4 ^b	00.0 \pm 0.0 ^c

^{abc} Literales distintas en la columna son diferentes ($P < 0.05$)

03-01 I = Invierno 03-04; 04P = Primavera; 04 V = Verano 04;

04 O = Otoño 04; y 04-05 I = Invierno 04-05.

5.5. Tasa de defecación

En la literatura científica consultada no se encontró información sobre tasa de defecación para el *Romerolagus diazi* por lo que ésta se estimó con base en los datos reportados por Sánchez (2009) sobre el efecto del nivel de fibra de *Muhlenbergia macroura* en el peso, el consumo y la digestibilidad de conejos de los volcanes bajo condiciones de cautiverio (Cuadro 6).

En dicho estudio, las tasas de defecación de cada tratamiento (diferentes niveles de inclusión de *M. macroura*) no arrojaron diferencias significativas ($P > 0.10$), teniendo como promedio: 253.46 \pm 7.04 excretas/día/conejo.

5.6. Densidad

Se estimó la densidad de teporingo (Cuadro 7) aplicando la ecuación usada por Novaro *et al.* (1992); se obtuvo un rango de 526.63 a 354.01 conejos/ha para el periodo del estudio (invierno 2003-2004 e invierno 2004-2005, respectivamente).

Cuadro 6. Tasa de defecación ($\mu \pm EE$) de *Romerolagus diazi* en cautiverio, alimentado en cautiverio con distintos porcentajes de adición de *Muhlenbergia macroura* en la dieta¹.

	Niveles de inclusión			
	0	10	20	30
Excretas	237.48 \pm 14.40	269.58 \pm 14.71	256.57 \pm 14.14	250.30 \pm 13.08
Digestibilidad MS ²	59.85	67.63	64.54	62.27

¹ Dieta = *Muhlenbergia macroura*; salvado de trigo; maíz en grano; heno de alfalfa; sorgo; melaza; harina de soya; aceite vegetal; carbonato de calcio; sal; premezcla vitamínica; y premezcla mineral.

² Datos de Sánchez (2009).

Considerando por sitio, el rango de densidades en Altzomoni fue de 144.40 a 95.46 conejos/ha, en El Arco de 112.66 a 94.54 conejos/ha, en El Pinar de 155.07 a 127.76 conejos/ha y, por último, en El Papayo de 123.72 a 0 conejos/ha; por consiguiente, aparentemente, dados sus rangos menores (27.31 y 18.12, respectivamente), las colonias más estables (aunque no necesariamente las más numerosas) fueron El Pinar y El Arco.

El tamaño poblacional de conejos en cada sitios se obtuvo multiplicando el número de conejos por hectárea por el número de hectáreas del blog 100 m², de tal manera que se obtuvo el rango de 3,624.20 a 4,607.42 individuos.

Asimismo al evaluar las diferencias entre en número mayor y menor de conejos se observa la misma tendencia en la diferencia entre los rangos de El Arco y El Pinar (182.29 y 177.73, respectivamente), y en Altzomoni es de 568.52 conejos, lo que puede respaldar que este último sitio responde en mayor medida a los cambios ambientales, mientras que en El Pinar y El Arco las colonias se mantienen más estables.

Cuadro 7. Estimación de densidad (conejo/ha) de *Romerolagus diazi* y número de conejos, por sitio y estación del año.

Sitio	Estación de año				
	03-04 I	04 P	04 V	04 O	04-05 I
Altzomoni	144.40 (1677.50)	122.21 (1419.75)	95.46 (1108.98)	137.33 (1595.40)	119.08 (1383.37)
El Pinar	149.48 (972.83)	127.76 (831.48)	155.07 (1009.21)	152.03 (989.46)	137.18 (892.80)
El Arco	112.66 (1130.81)	95.54 (948.52)	94.95 (953.08)	109.76 (1101.71)	97.75 (981.14)
El Papayo	120.09 (826.28)	102.72 (706.75)	80.36 (552.93)	123.72 (851.29)	0 (0)
Total	526.63 (4607.42)	448.23 (3906.50)	425.84 (3624.20)	522.84 (4537.86)	354.01 (3257.31)

En el paréntesis se indica el número estimado de conejos = conejos/ha X No. de hectáreas

6. Discusión

Es irónico que entre los lagomorfos, que son un símbolo de fertilidad en el mundo, algunas especies silvestres se encuentren en peligro de desaparecer; estimaciones recientes calculan que el 25% de las especies están declinando o en peligro de extinción (Shiple, 2008).

Ejemplos de este problema son el conejo de Brasil (*Sylvilagus brasiliensis*) en Brasil, el conejo de Dice (*Sylvilagus dicei*) en América Central, el conejo Amami (*Pentalagus furnessi*) en Japón, el conejo rivereño (*Bunolagus monticularis*) en Sudáfrica, la liebre Hispida (*Caprolagus hispidus*) en el Himalaya, el conejo de lomo blanco (*Lepus callotis*), mientras que en Estados Unidos de Norteamérica se encuentran el conejo de los Cayos Bajos (*Sylvilagus palustris hefneri*), el conejo Cepillo (*Sylvilagus bachmani*), y el conejo Pigmeo (*Brachylagus idahoensis*) y uno de los más representativos en México, pero no el único lagomorfo en peligro de extinción, es el conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*), ya que también se encuentran en este estatus, el conejo de las Islas Marías (*Sylvilagus graysoni*), el conejo de Omiltemi (*Sylvilagus insonus*), la liebre de Tehuantepec (*Lepus flavigularis*), y la liebre Torda (*Lepus callotis*) (Cervantes y González, 1996; NOM-059-ECOL-2001; Thines *et al.*, 2004; Alves y Hackländer, 2008; Farías *et al.*, 2008; Smith, 2008).

Es sumamente importante mantener un monitoreo constante sobre las poblaciones en riesgo, un problema básico es la metodología empleada para la estimación de la abundancia, ya que han sido usados tanto métodos directos como indirectos, sin embargo, la elección del método depende de factores como la biología de especie, su hábitat, además de la economía del investigador para la realización del estudio (Murray *et al.*, 2002; Krebs, 2006; St-Laurent y Ferron, 2008).

La manera más simple de determinar cuántos animales de una especie particular viven en un área es contarlos a todos, sin embargo, esta meta es difícil de alcanzar. el conteo de la población total, se ha indicado que no podría ser difícil de hacer en grandes mamíferos (Eggert *et al.*, 2003), si además de esto se encuentran en áreas restrictas, pero muy a pesar de eso, siempre se debe ser escéptico de la exactitud del conteo total, puesto que en la mayoría de los casos hay una tendencia negativa, dado que el tamaño de la población estimada es menor que el número de animales presentes en un área en un tiempo determinado (Bookhout 1994; Krebs, 2006).

La densidad depende de procesos de regulación, donde está implicada la dinámica de las poblaciones, algunos componentes demográficos y ambientales, además de la estructura de la población, que dan margen a variaciones sobre la

estimación del número de individuos de una población (Marboutin y Hansen, 1998; Turchin, 1999; Aars y Ims, 2002; Rödel *et al.*, 2004). En este estudio en Altzomoni es donde se encontraban mayor número de unidades de muestreo, en relación al resto de los sitios, esta tendencia se mantuvo en todas las estaciones del año que fueron evaluadas, siendo esta una posibilidad de las diferencias observadas y, por lo tanto, no puede ser la única causa de las diferencias en la densidad. A su vez, la mayor diferencia (48.94) de Altzomoni hace suponer que es una colonia que responde en mayor medida a los cambios ambientales.

Si la especie de interés tiene una forma de excreta característica, puede ser más fácil encontrar y contar excretas, que intentar capturar a los animales. En los hábitats en donde las excretas son persistentes, este método se puede utilizar con eficacia para obtener un índice de abundancia de la población con un mínimo de esfuerzo (Krebs, 2006). Este principio fue aplicado al caso del *Romerolagus diazi* dado que tiene una forma definida de la excreta (achatada de los polos y se ensancha en el centro, sus diámetros se encuentran entre 5 y 9 mm para animales adultos, mientras que para juveniles no deben de exceder los 5 mm de diámetro) (Cervantes *et al.*, 1990; Aranda, 2000).

En la estimación de poblaciones de pequeños mamíferos se han aplicado diferentes técnicas para acercarse al valor real del tamaño de la población estudiada; en este estudio la metodología empleada, fue el conteo de excretas, basándose en los resultados y correlaciones ($r^2 = 0.89$; $P < 0.0001$) que obtuvieron Forsy y Humphrey (1997) al estimar la densidad del conejo de los pantanos (*Sylvilagus palustris hefneri*). Esta correlación la obtuvieron al comparar la técnica de telemetría con el conteo de excretas, sin embargo, obtuvieron una correlación más alta ($r^2 = 0.99$; $P < 0.0001$) cuando compararon la densidad entre trampeo y telemetría, concluyendo que la combinación de ambas técnicas da valores similares y aproxima a conocer el valor real de la densidad de los conejos. También, en la estimación de la población de liebres pies de raqueta (*Lepus americanus*), por el método de conteo de excretas, se reporta una alta correlación ($r^2 = 0.76$) entre el conteo de excretas y la densidad de población (Krebs *et al.*, 2001; Mills *et al.*, 2005). En el mismo sentido, Palomares (2001) bajo condiciones mediterráneas y estudiando al conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus*)

indicó que el conteo de excretas y madrigueras puede proporcionar estimaciones confiables de la abundancia de ese lagomorfo.

Murray *et al.* (2002) y Mills *et al.* (2005) sostienen que dependiendo de las condiciones de estudio, la biología de la especie, el hábitat y principalmente de que los factores económicos lo permitan, el mejor método para la estimación de abundancia es el marcaje-recaptura, sin embargo, en este estudio un factor limitante fue el económico, además que lo que determinó el uso de conteo de excretas fueron los hábitos cursoriales y ámbito hogareño reportado para el *Romerolagus diazi* (Cervantes, 1980; Cervantes *et al.*, 1990). En este sentido esto se puede confirmar para el caso de liebres de pies de raqueta (*Lepus americanus*), que el conteo de excretas es una herramienta eficiente para supervisar tendencias en los cambios de la población, se hace mención que no hay metodología estándar usada para conducir los estudios de densidad (Prugh y Krebs, 2004).

Asimismo se ha indicado que una alternativa para calibrar este conteo de excretas puede ser el combinar dos técnicas de muestreo, por ejemplo, el conteo de excretas con el trapeo (Krebs *et al.*, 2001). De esta manera, los intentos de estimar densidad por medio del conteo de excretas, dependerá de la tasa de defecación de la especie a estudiar, el cuestionamiento sobre el uso de la tasa de defecación, es de que de acuerdo al hábitat y época del año existe una variación en la disponibilidad de la dieta, así como que normalmente estas tasas de defecación son obtenidas de datos de animales de zoológico o animales capturados en vida silvestre y alimentados en cautiverio, por lo que se modifican los hábitos alimenticios de su dieta silvestre y además de su actividad, por lo que pudieran ser estimaciones no confiables de esta tasa de defecación (Krebs, 2006).

En este sentido en este estudio, los valores usados como tasa de defecación, además del conteo de excretas y el análisis químico proximal (AOAC, 1990) de los ingredientes (*Muhlenbergia macroura*; salvado de trigo; maíz en grano; heno de alfalfa; sorgo; melaza; harina de soya; aceite vegetal; carbonato de calcio; sal; premezcla vitamínica; y premezcla mineral), también se realizó un análisis de la digestibilidad de la dieta ofrecida en cautiverio al *Romerolagus diazi* en el Zoológico de Chapultepec México (Sánchez, 2009), tratando de establecer un factor de corrección para esta tasa

de defecación, sin embargo, al analizar los diferentes niveles de inclusión de *Muhlenbergia macroura*, no se observaron diferencias significativas ($P > 0.10$), asimismo al usar una tasa defecación que se pudiera considerar sobre estimada, esto va hacer que se subestimen las poblaciones de *Romerolagus diazi*, que en determinado momento pudiera ser benéfico para la misma especie, ya que aseguraría su estatus de peligro de extinción y por lo tanto estar bajo un programa de conservación y protección tanto para la especie como su hábitats, y lo cual abre un campo para realizar investigaciones más profundas, en relación al aprovechamiento y uso fisiológico de la dieta en vida silvestre y establecer así una tasa de defecación específica para uno de los hábitat donde se ubica el *Romerolagus diazi*.

En el mismo sentido del uso de tasas de defecación, se tiene que hacer notar que el valor que usaron Arnold y Reynlods (1943) correspondió a 545 excretas/animal/día, mientras que el valor para la tasa de defecación de 410 excretas/animal/día usada por Novaro *et al.* (1992), fue la estimada por Flux (1967) para la libere europea (*Lepus capensis*) bajo condiciones de Nueva Zelanda, similares a las del estudio de Novaro *et al.* (1992) en el noreste de La Patagonia Argentina, mientras que en el estudio de Forsy y Humphrey (1997), estimaron entre 103 y 171 excretas/animal/día, para el conejo de los pantanos (*Sylvilagus palustris hefneri*) bajo condiciones de cautiverio en el Cabo Lower en Florida USA

Se ha mencionado que el mayor problema en el muestreo de excretas es que no está distribuido aleatoriamente en el paisaje, y que puede descomponerse a diferentes tasas, dependiendo de las condiciones ambientales prevalecientes en el hábitat (Krebs, 2006). Esto no aplicó para este estudio, ya que el *Romerolagus diazi*, es de los lagomorfos que forma letrinas (50 excretas/0.25 m²) y tiene un ámbito hogareño muy limitado (2,500 m², aproximadamente), por lo que la distribución espacial de las excretas se ubica en un área pequeña, así como también por los periodos de muestreo, el intemperismo no actuó sobre las excretas.

Un problema importante con el conteo de excretas es la determinación de su edad. En algunos estudios solamente se han contado las excretas frescas debido a que el aspecto de la excreta cambia dependiendo de condiciones ambientales, por lo que es esencial definir cuidadosamente cuál debe ser contada y cual eliminada. El mejor

método para evitar este problema es contar de nuevo los mismos cuadrantes y retirar de ellos todas las excretas cada vez que se cuentan (Krebs, 2006). De cierta manera esto se aplicó en este estudio, sin embargo, al hacerlo de esta manera, solo aproximadamente en un 50% el *Romerolagus diazi* regresaba a la misma letrina (Cervantes, comunicación personal, 2006). En este sentido otra de las debilidades de usar el conteo de excretas en mamíferos, se ha indicado que si la especie estudiada es rara, puede que sea difícil obtener el tamaño de muestra significativo, además que si se entremezclan los hábitat, puede que no sea posible conseguir estimaciones de densidad específicas a un hábitat determinado (Krebs, 2006; St-Laurent y Ferron, 2008). En este estudio no fue usada la técnica de transectos, a pesar de que son una de las herramientas más utilizada por los investigadores en fauna silvestre para la estimación de poblaciones, se reconocen sus fortalezas, ya que la línea transectos se puede utilizar para estimar la abundancia y los índices de la actividad en mamíferos, tales como letrinas, apilamiento de excretas y madrigueras. Una línea de transecto se puede convertir en un rectángulo, con cuadrados de muestreo de tamaño fijo, si el observador puede estar seguro de avistar a todos los individuos dentro de la tira fija. Esta técnica de acercamiento no se recomienda para la mayoría de los mamíferos porque la detección no es generalmente del 100% y el factor limitante de observaciones es una anchura fija del transecto, los datos se pierden porque las observaciones son más distantes que lo que se tiene contemplado como línea de transecto (Krebs, 2006).

Los caminos y veredas son de uso frecuente para determinar la trayectoria de la línea del transecto, lo cual conlleva a un problema general de muestro no aleatorio del área del estudio; es decir, si el muestreo de conveniencia es usado en vez del muestreo al azar, los datos obtenidos seguramente están sesgados. Además, una premisa del muestreo es que los individuos deben ser localizados antes de que se muevan o la función de detección será negativa (Krebs, 2006).

Por otro lado, el uso de los transectos para la estimación detección y determinación de densidad de lagomorfos puede ser poco eficiente o difícil de aplicar en algunos casos. Por ejemplo, en la detección de sitios con presencia del conejo pigmeo (*Brachylagus idahoensis*) mediante este método se encontró que en sólo el

60% de los transectos se observaron organismos (Larrucea y Brussard, 2008). Además, Krebs (2006) indica que el o los observadores pueden tener grandes variaciones en su capacidad de ver animales, particularmente si el hábitat tiene una gran abundancia de vegetación y ésta es muy densa: tal fue el caso de este estudio, ya que se encontraron densidades de 2.32 zacatones/m², con 74 cm de diámetro y una altura mínima de 75 cm. Adicionalmente, dentro de los polígonos con presencia de *Romerolagus diazi*, no se encontraron veredas trazadas, y debido al comportamiento de la especie, cuando los animales detectan un movimiento extraño adoptan un estado de alerta y permanecen inmóviles, con las orejas distendidas, actitud que asumen en presencia de predadores; también ha sido interpretado como un mecanismo de camuflaje, ya que por la coloración de su pelaje se confunde con el suelo y con el sustrato rocoso (Cervantes y Martínez, 1996). Finalmente, hay que considerar que *Romerolagus diazi* es de hábitos crepusculares y su mayor actividad se detecta al amanecer y poco antes de anochecer (Cervantes, 1980), por lo que es muy difícil confiar en las observaciones realizadas a estas horas del día, debido a las variaciones en la luminosidad y además de que se debe de considerar la época del año, ya que el ángulo de exposición de la luz solar es diferente en cada época.

En este estudio se los ámbitos hogareños correspondientes a las colonias, son aparentemente grandes (6.5 a 11.6 ha), en este sentido han sido reportados ámbitos hogareños mucho más pequeños para diferentes lagomorfos, en este caso se encuentra el conejo pigmeo (*Brachylagus idahoensis*) con ámbitos hogareños de aproximadamente \approx 0.30 ha (Weiss y Verts, 1984; Thines *et al.*, 2004), también el conejo de los pantanos (*Sylvilagus aquaticus*) con un ámbito hogareño de 0.7 a 7.7 h (Kjolhuag y Woolf, 1998) y cuando se encuentra en sitios en sitios inundables es de 1.0 a 4.9 ha (Zollner *et al.*, 2000), para Francia el rango más amplio que se ha reportado para *Oryctolagus cuniculus* con bajas densidades fue de 0.733 ha, mientras que con altas densidades correspondió a 2.049 ha (Devillard *et al.*, 2008), para el caso de regiones prioritarias en España donde se está monitoreando a la águila imperial (*Aquila adalberti*) y al lince ibérico (*Lynx pardinus*), los ámbitos hogareños para el *Oryctolagus cuniculus* son de 1.05 a 5.18 ha (Delibes-Mateos *et al.*, 2009), estos ámbitos se

encuentran cercanos a los mínimos que se observaron en esta investigación (6.508 ha).

La información más reciente sobre tamaño de la población del *Romerolagus diazi* fue publicada para el área del volcán el Pelado, Distrito Federal, México. Velázquez (1994) reporta para este sitio un tamaño de la población promedio de 6,488 conejos, con un rango de entre 2,478 - 12,120 individuos. De los 83 km² de superficie total de dicho volcán, 48 presentan características de hábitat adecuado para esta especie (Fa y Bell, 1990) por lo que si se calcula la densidad para la superficie total del volcán, se obtienen entre 1.460 y 0.298 conejos/ha, mientras que para el hábitat apropiado, la estimación es de 0.516 a 2.525 conejos/ha. En este estudio, con valores que van desde 0.144 a 0.204 conejos/ha, para el periodo de muestreo, siendo menor el valor de la densidad que las reportadas por Velázquez (1994); asimismo, el tamaño promedio de la población fue también menor (3,932.36 conejos), con un mínimo de 3,257.31 y un máximo de 4,607.42 conejos.

7. Conclusión

El sitio con mayor tamaño de la población de *Romerolagus diazi* fue Altzomoni, no necesariamente el de mayor densidad. La mayor población se asocia a la altura sobre el nivel del mar, a la estructura vegetal que corresponde solamente a zacatonales (*Muhlenbergia macroura* y *Festuca tolucensis*) que lo usan como cobertura y como alimento.

El sitio con menor número y abundancia fue El Papayo, esto debido a que la colonia presente en este sitio desapareció. El sitio con mayor abundancia de conejos por hectárea fue El Arco.

8. Recomendaciones de manejo

Estos resultados nos indican que los sitios con mayor densidad de conejos, son los sitios donde se observan la menor diversidad vegetal en el hábitat, mientras que los sitios con mayor número de conejos correspondió al sitio donde se encontraban mayor número de unidades de muestreo, esto puede indicar que El Pinar y El Arco son los sitios donde las poblaciones tienden a ser más estables, mientras que en Altzomoni es

donde durante y después de las época de lluvias la población se incrementa, que a su vez en este sitio es donde las fluctuaciones son más grandes, por lo que un paso próximo a seguir sería el tratar de conocer en los sitios evaluados la estructura de población, para tratar de establecer estrategias de manejo de cada uno de los sitios.

9. Literatura citada

- Aars, J., and R. A. Ims. 2002. Intrinsic and climatic determinants of population demography: the winter dynamics of tundra voles. *Ecology*. 83:3449-3456.
- Alves, P. C., and K. Hackländer. 2008. Lagomorph species: Geographical distribution and conservation status. *En: Lagomorph Biology. Evolution, Ecology, and Conservation*. Eds. Paulo C. Alves, P. C., N Ferrand, and K. Hackländer. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Netherlands. pp. 395-405.
- AOAC. 1990. *Methods of Analysis (15th Ed.)*. Association of Official Analytical Chemist, Washington, D.C.
- Aranda, M. 2000. Huellas y otros rastros de los mamíferos grandes y medianos de México. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Estudio de la Biodiversidad (CONABIO). México DF.
- Arnold, J. F., and H. G. Reynolds. 1943. Droppings of Arizona and antelope jack rabbits and the "pellet census". *J. Wildl. Manage.* 7:322.327.
- Arriaga, L., J. M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez, y E. Loa. 2000. Sierra Nevada. Regiones Terrestres Prioritarias para la Conservación de México. RTP-107. Comisión Nacional para el Estudio de la Biodiversidad (CONABIO). pp. 1-3.
- Bookhout, T. A. 1994. *Research and management techniques for wildlife and habitats*, 5th edn. The Wildlife Society. Bethesda Maryland USA.
- Cervantes R. F. A. 1980. Principales características biológicas del conejo de los volcanes *Romerolagus diazi*, Ferrari Pérez 1893 (Mammalia: Lagomorpha), Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias (Biología). Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp 137.
- Cervantes R, F. A., C. Lorenzo, and R. S. Hoffmann. 1990. *Romerolagus diazi*. *Mamm. Spes* 360:1-7.
- Cervantes, F. A., y F. X. González. 1996. I. Los conejos y liebres silvestres de México.. *En: Velázquez A., Romero F. J, y López-Paniagua J. (Comp.)*. Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat. Fondo de Cultura Económica, México D.F. pp. 29-40.

- Cervantes, F. A., y V. J. Martínez. 1996. II. Historia natural del conejo zacatuche o teporingo (*Romerolagus diazi*). *En*: Velázquez A., Romero F. J, y López-Paniagua J. (Comp.). Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat. Fondo de Cultura Económica, México D.F. pp. 29-40.
- Chapman, J. A., and J. E. C. Flux. 1990. Introduction and overview of the order Lagomorpha. Chapter 1. *En*: Rabbits, Hares and Pikas. Status Survey and Conservation, Action Plan. Compiled and edited by Joseph A. Chapman and John E.C. Flux. IUCN/SSC Lagomorph Specialist Group. UICN Gland. Switzerland. pp. 1-6.
- Delibes-Mateos, M., P. Ferreras, and R. Villafuerte. 2009. Rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) abundance and protected areas in central-southern Spain: why they do not match?. *Eur. J. Wildl. Res.* 55:65-69.
- Devillard, S., J. Aubineau, F. Berger, Y. Léonard, A. Roobrouck, and S. Marchandeu. 2008. Home range of the European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) in three contrasting French populations. *Mamm. Biol.* 73:128–137.
- Eggert, L. S., J. A. Eggert, and D. S. Woodruff. 2003. Estimating population sizes for elusive animals: the forest elephants of Kakum National Park, Ghana. *Mol. Ecol.* 12:1389-1402.
- Fa, J. E., and D. J. Bell. 1990. The volcano rabbit (*Romerolagus diazi*). *En*: Rabbits, Hares and Pikas. Status Survey and Conservation, Action Plan. Compiled and edited by Joseph A. Chapman and John E.C. Flux. IUCN/SSC Lagomorph Specialist Group. UICN Gland. Switzerland. pp. 143-146.
- Flux, J. E. C. 1967. Hare numbers and diet in an alpine basin in New Zealand. *Proc. N. Z. Ecol. Soc.* 14:27-33
- Forys, E. A., and S. R. Humphrey. 1997. Comparison of 2 methods to estimate density of an endangered lagomorph. *J. Wildl. Manage.* 61:86-92.
- Farías, V., T. K. Fuller, F. A. Cervantes, and C. Lorenzo. 2008. Conservation of critically endangered lagomorphs: The Tehuantepec jackrabbit (*Lepus flavigularis*) as an example. *En*: Lagomorph Biology. Evolution, Ecology, and Conservation. Eds. Paulo C. Alves, P. C., N Ferrand, and K. Hackländer. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Netherlands. pp. 363-368.
- Hulbert, I. A. R., and R. Andersen. 2001. Food competition between a large ruminant and a small hindgut fermentor: The case of the roe deer and mountain hare. *Oecologia*, 128:499-508

- Iborra, O., and J. P. Lumaret. 1997. Validity limits of the pellet group counts in wild rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). *Mammalia*. 61:205-218.
- Kjolhuag, M. S., and A. Woolf. 1998. Home range of the swamp rabbit in Southern Illinois. *J. Mammal.* 69:194-197.
- Krebs, C. J., B. S. Gilbert, S. Boutin, and R. Boonstra. 1987. Estimation of snowshoe hare population density from turd transects. *Can. J. Zool.* 65: 565–567.
- Krebs, C. J., R. Boonstra, V. Nams, M. O'Donoghue, K. E. Hodges, and S. Boutin. 2001. Estimating snowshoe hare population density from pellet plots: a further evaluation. *Can. J. Zool.* 79:1-4.
- Krebs, C. J. 2006. Mammals. Chapter 10, In: *Ecological Census Techniques: A Handbook, Second Edition*. Sutherland W. J. (editor). Cambridge University Press, Cambridge. pp. 351-369.
- Larucea, E. S., and P. F. Brussard. 2008. Efficiency of various methods used to detect presence of pygmy rabbits in summer. *Westn. North Am. Nat.* 68:303–310.
- Ley General de Vida Silvestre. 2010. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de julio del 2000, con una última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de septiembre del 2010.
- Litvaitis, J. A., J. A. Sherburne, and J. A. Bisonnette. 1985. A comparison of methods used to examine snowshoe hare habitat use. *J. Wildl. Manage.* 49:693-695.
- Lugo, H. J. 1984. Geomorfología del Sur de la Cuenca de México. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Varia T. 1. No. 8. México D.F.
- Marboutin, E., and K. Hansen. 1998. Survival rates in a nonharvested brown hare population. *J. Wildl. Manage.* 62:772–779.
- Mills, L. S., P. C. Griffin, K. E. Hedges, K. McKelvey, L. Ruggiero, and T. Ulizio. 2005. Pellet count indices compared to mark–recapture estimates for evaluating snowshoe hare density. *J. Wildl. Manage.* 69:1053–1062.
- Moller, H., K. Newton, and B. McKinly B. 1996. Day-time transect counts to measure relative abundance of rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). *J. Zool. London* 239:406-410.
- Murray, D. L., J. D. Roth, E. Ellsworth, A. J. Wirsing, and T. D. Steury. 2002. Estimating low-density snowshoe hare populations using fecal pellets counts. *Can. J. Zool.* 80:771-781.

- Novaro, A. J., A. F. Capurro, A. Travaini, M. C. Funes, and J. E. Rabinovich. 1992. Pellet-count sampling based on spatial distribution: a case study of the european hare in Patagonia. *Ecol. Aust.* 2:11-18.
- Painter, L., D. Rumiz, D. Guinart, R. Wallace, B. Flores, and W. Townsend. 1999. Técnicas de investigación para el manejo de fauna silvestre. Manual del Curso del III Congreso Internacional sobre Manejo de Fauna Silvestre en la Amazonía, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Chemonics Internacional. USAID/Bolivia. Noviembre, 1999. pp 74.
- Palomares, F., J. Calzada, y E. Revilla. 1996. El manejo del hábitat y la abundancia de conejos: diferencias entre dos áreas potencialmente idénticas. *Rev. Florestal.* 9:201-210.
- Palomares, F. 2001. Comparison of 3 methods to estimate rabbit abundance in a Mediterranean environment. *Wildl. Soc. Bull.* 29:578-585.
- Prugh, L. R., and C. J. Krebs. 2004. Snowshoe hare pellet-decay rates and aging in different habitats. *Wildl. Soc. Bull.* 32: 386-393.
- Rödel, H. G., A. Bora, P. Kaetzke, M. Khaschei, .H. Hutzelmeyer, and D. von Holst. 2004. Over-winter survival in subadult European rabbits: weather effects, density dependence, and the impact of individual characteristics. *Oecologia* 140:566–576.
- Romero, F. J., y A. Velázquez. 1996. El conejo zacatuche. Tan lejos de Dios y tan cerca de la ciudad de México. Instituto Nacional de Ecología-Consejo Nacional de la Fauna. México D.F. México. pp. 31.
- Sánchez T. M. 2009. Efecto del nivel de fibra de *Muhlenbergia macroura* sobre peso, consumo y digestibilidad en el conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*), Tesis de Maestría en Ciencias. Maestría de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma Metropolitana. México D.F. México. 45 pp.
- SAS. 2001. Statistical Analysis System SAS/STAT® User's Guide (Release 6.03). SAS Inst. Inc. Cary, N.C. USA.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2001. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, miércoles 22 de marzo del 2002.
- Shiple, L. 2008. Pygmy rabbits in peril in the U.S.A. ActionBioscience.org. Disponible en: <http://www.actionbioscience.org/biodiversity/shiple.html>. Consultado el 8 de marzo del 2009.

- Smith, A. T. 2008. Conservation of Endangered Lagomorphs. *En: Lagomorph Biology. Evolution, Ecology, and Conservation.* Eds. Paulo C. Alves, P. C., N Ferrand, and K. Hackländer. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Netherlands. pp. 297-316.
- St-Laurent, M-H, and J. Ferron. 2008. Testing the reliability of pellet counts as an estimator of small rodent relative abundance in mature boreal forest. *J. Neg. Resul. Ecol. Evol. Bio.* 5:14-22.
- Taylor, R. H. and R. M. William. 1956. The use of pellet counts for estimating the density of populations of wild rabbit *Oryctolagus cuniculus* (L.). *New .Zeland J. Sci. Technol.* 38:236–256.
- Thines, N. J., L. A. Shipley, and R. D. Saylor. 2004. Effects of cattle grazing on ecology and habitat of Columbia Basin pygmy rabbits (*Brachylagus idahoensis*). *Biol. Conserv.* 119:525–534.
- Turchin, P. 1999. Population regulation: a synthetic overview. *Oikos* 84:153–159
- Velázquez, A. 1994. Distribution and population size of *Romerolagus diazi* on El Pelado volcano. Mexico. *J. Mammal.* 75:743-749.
- Velázquez, A., F. J. Romero, and L. León. 1996. VI. Fragmentación del hábitat del conejo zacatuche. In: Velázquez A., Romero F. J, y López-Paniagua J. (Comp.). *Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat.* Fondo de Cultura Económica, México D.F. pp. 73-86.
- Weiss, N.T., and B. J. Verts. 1984. Habitat and distribution of pygmy rabbits in Oregon. *Great Basin Naturalist* 44:563–571.
- Zollner, P. A., W. P. Smith, and L. A. Brennan. 2000. Home range use by swamp rabbit (*Sylvilagus aquatic*) in a frequently inundate bottomland forest. *Am. Midl. Nat.* 143:64-69.

10. Anexos

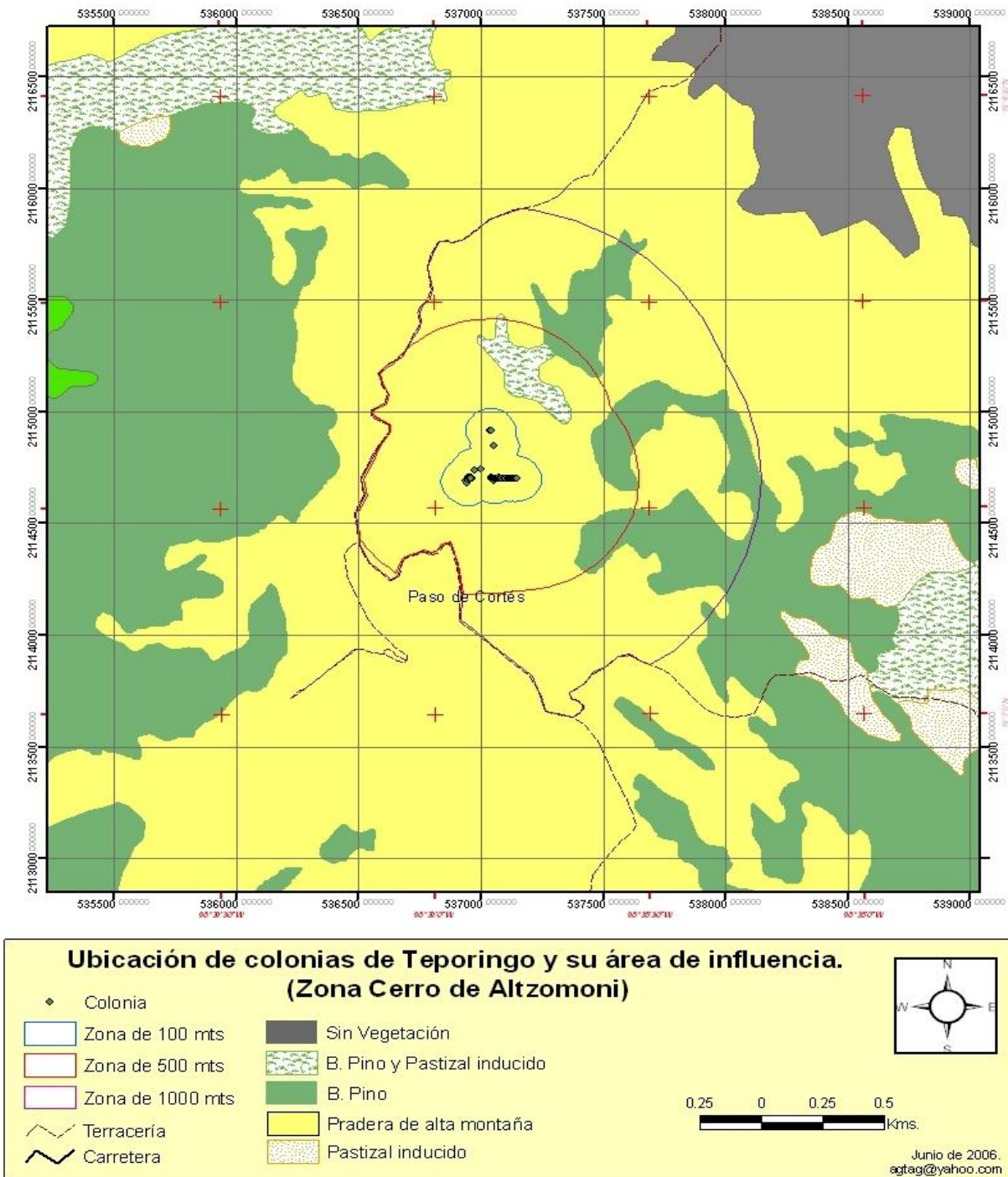


Figura 1. Polígonos correspondientes a lugares donde se ubicaron letrinas correspondientes a Alzomoni.

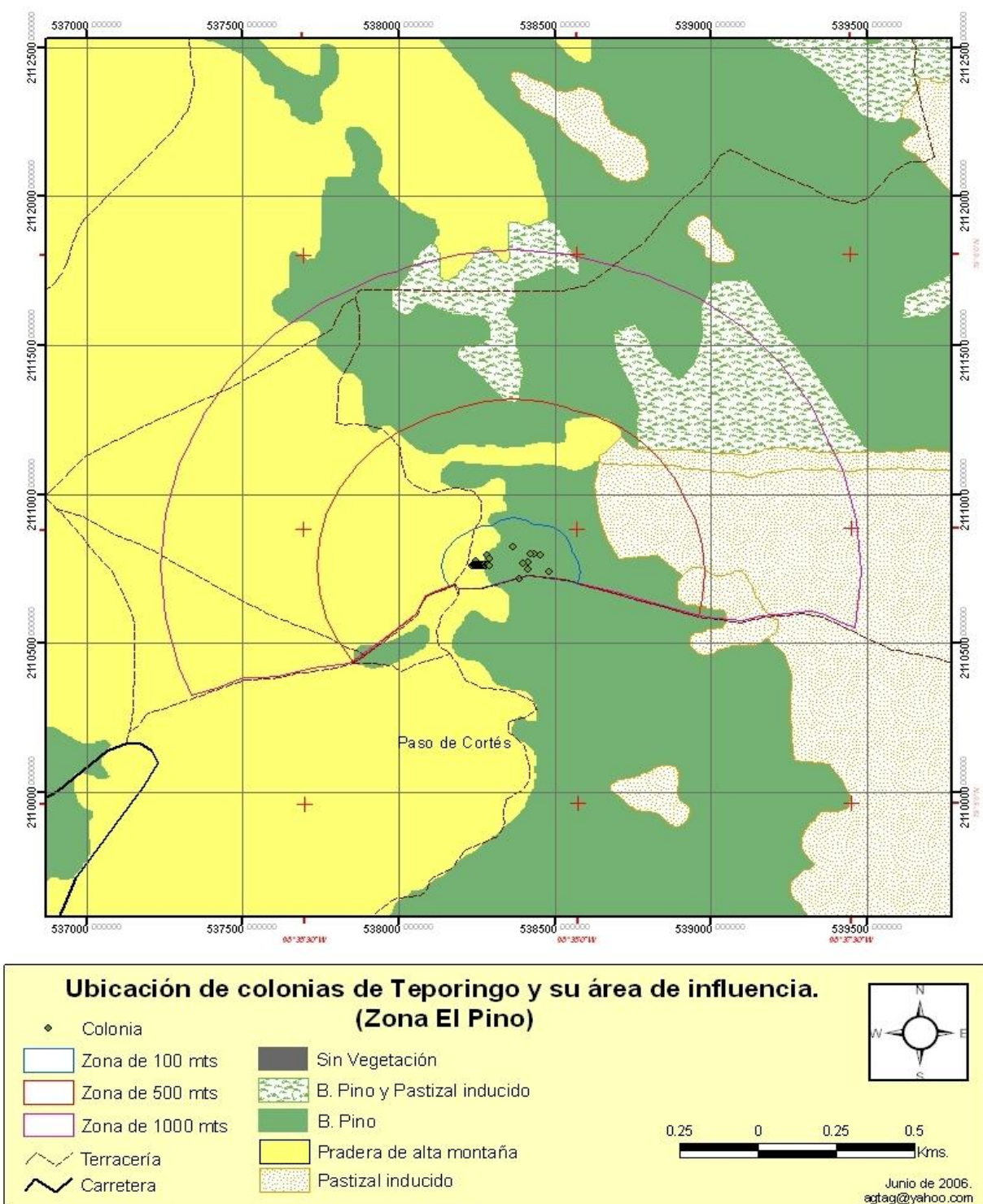


Figura 2. Polígonos correspondientes a lugares donde se ubicaron letrinas correspondientes a El Pinar.

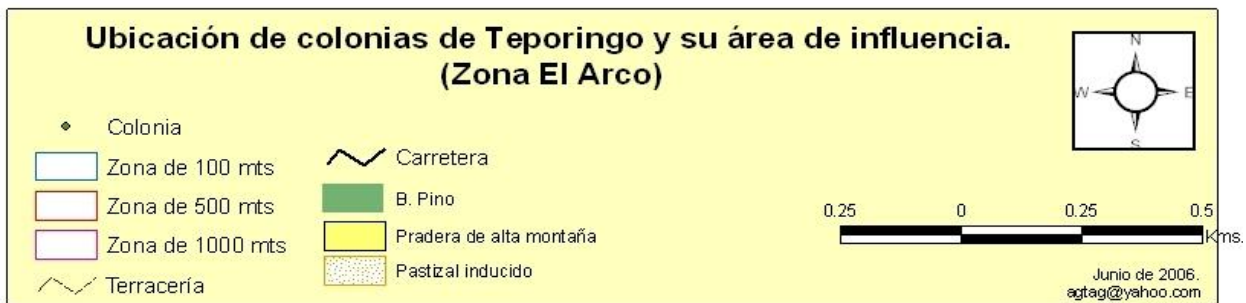
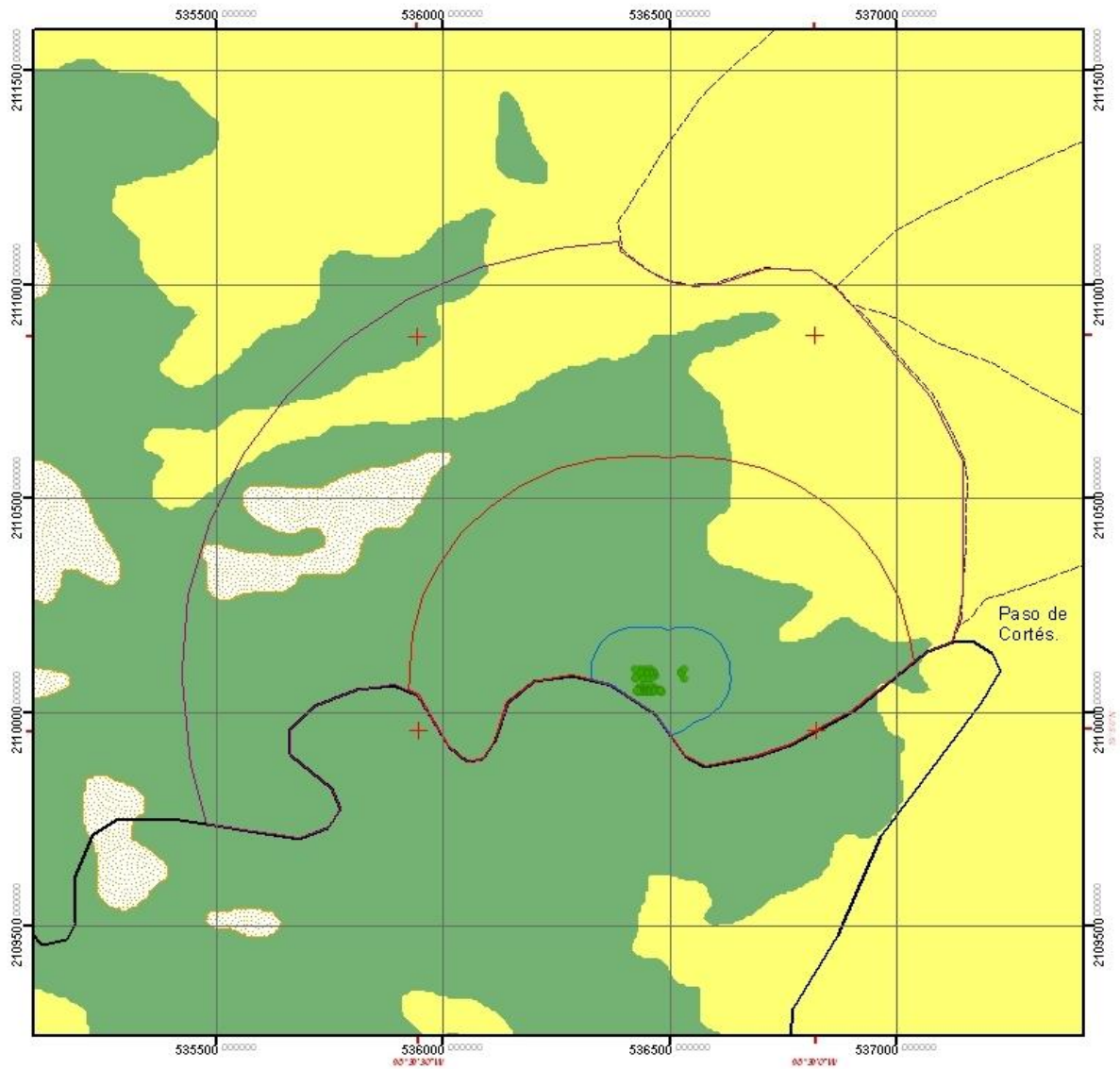


Figura 3. Polígonos correspondientes a lugares donde se ubicaron letrinas correspondientes a El Arco.

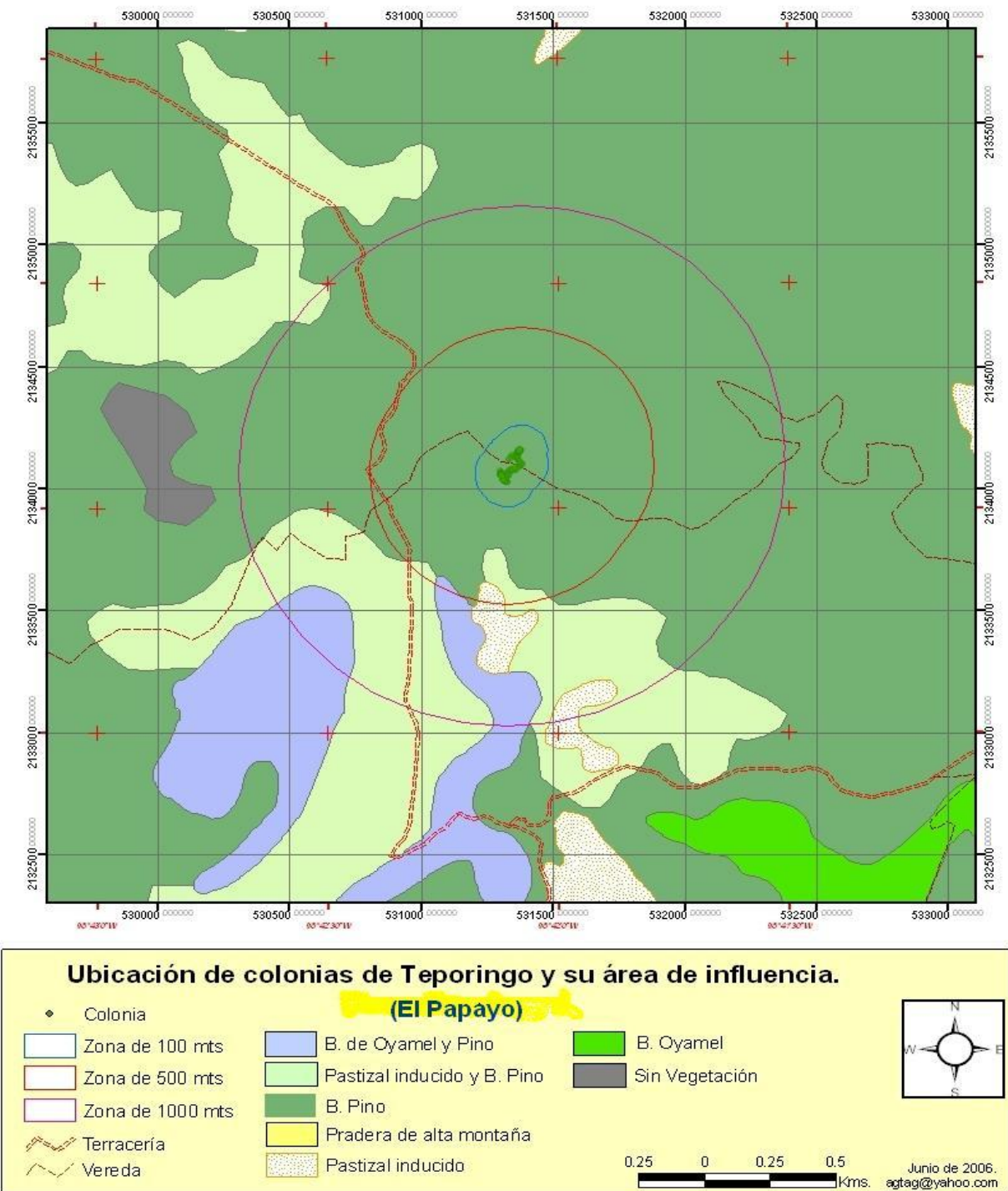


Figura 4. Polígonos correspondientes a lugares donde se ubicaron letrinas correspondientes a El Papayo.

Capítulo III
Uso de hábitat y perturbación de hábitat del conejo de los volcanes
(*Romerolagus diazi*)

1. Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el uso de hábitat del *Romerolagus diazi* en diferentes sitios dentro del Parque Nacional Izta- Popo, Zoquiapan y Anexas. Este se determinó por medio de la selección de comunidades vegetales, por medio de la Línea de Canfield se estimó el porcentaje de cada uno de los componentes de la cobertura del hábitat, además se estableció el efecto de la perturbación del hábitat, ya sea por efectos atropogénicos o perturbación causada por otros animales. Se usó estadística multivariada y análisis de componentes principales, así como correlación canónica, para las variables de cobertura. Con relación a las comunidades que prefieren, en orden de importancia se observó que esta son: 1. *Muhlenbergia macroura-Muhlenbergia emersleyi-Arundinella deppeana* (Altzomoni); 2. *Festuca tolucensis-Pinus hartwegii* (El Arco y El Pinar); y 3. *Festuca tolucensis-Pinus sp.-Abies religiosa* (El Papayo). Se observaron dos componentes en el dendrograma (Altura de gramíneas y diámetro de gramíneas) que explican el 76.8% la presencia de *Romerolagus diazi* en los sitios estudiados. Cada una de las variables que obtuvieron > 0.05% fueron: suelo desnudo; perturbación; y mantillo, mientras las que en conjunto solo explican un 0.047% fueron: distancia del árbol más cercano; número de árboles; pendiente del paisaje; pendiente de la letrina; exposición; distancia al ecotono; y distancia al camino más cercano. Al establecer las comparaciones entre los diferentes sitios para uso del hábitat, se observó que para el componente de presencia de gramíneas hay diferencia significativa ($P < 0.05$) entre El Pinar (64.04 ± 4.3) con relación a Altzomoni, El Arco y Zoquiapan (65.08 ± 4.3 ; 65.62 ± 4.9 ; y 64.74 ± 5.0 ; respectivamente). Al analizar la perturbación se obtuvieron los siguientes resultados:

Excretas de equinos (0.85 ± 1.35); para el caso de los Humanos esta se dividió en orgánica (1.63 ± 1.40) e inorgánica (1.87 ± 1.42), y para los Bovinos como consumo de gramíneas (1.71 ± 1.87) y excretas (93.92 ± 3.21). Se concluye que el factor más importante que determina la presencia o ausencia de *Romerolagus diazi*, en el área de estudio es que por lo menos el hábitat cuente con más del 60% de cobertura con gramíneas amacolladas ($1.4 \text{ gramíneas/m}^2$) con una altura mínima de $63.7 \pm 4.8 \text{ cm}$ y con $84.5 \pm 2.7 \text{ cm}$ a la base de la gramínea.

Palabras clave: uso de hábitat, *Romerolagus diazi*, comunidad vegetal, gramíneas, perturbación.

2. Abstract

The present study had as objective to estimate the habitat use of the *Romerolagus diazi* in different sites within the National Park Izta- Popo, Zoquiapan and surroundings. The habitat use was determined by the selection of vegetal communities, besides with the Canfield Line, it was estimated the percentage of each one of the components of the habitat, in addition it was established the disturbance effect in the habitat by anthropogenic effects or that caused by other animals. Multivariate statistics and main components analyses as well as of canonical correlation were used. For habitat use, it was observed that the order that prefer in the communities is 1. *Muhlenbergia macroura-Muhlenbergia emersleyi-Arundinella deppeana* (Altzomoni); 2. *Festuca toluensis-Pinus hartwegii* (The Arc y The Pine); y 3. *Festuca toluensis-Pinus sp.-Abies religiosa* (The Papayo). Two components were observed in the dendrogram (height and diameter of grass) which explains 76.8% of presence of *Romerolagus diazi* in the studied sites. Each one of the variables which obtained $> 0.05\%$, were: naked soil; disturbance; and mantillo, whereas those that together only explain in a 0.047% were: distance of the nearest tree; number of trees; slope of the landscape; slope of the latrine; exhibition; distance to ecoton; and it distances to the nearest road. When establishing the comparisons between the different sites for use from the habitat, it can be observed that for the component of presence of grass with the exception of The Pine (64.04 ± 4.3) it is the one that has a significant difference ($P < 0.05$) in relation to Altzomoni, The Arc and Zoquiapan (65.08 ± 4.3 ; 65.62 ± 4.9 ; and 64.74 ± 5.0 ;

respectively). When analyzing the disturbance the following results were obtained: Horse feces (0.85 ± 1.35); for the case of the Humans this was divided in organic (1.63 ± 1.40) and inorganic (1.87 ± 1.42), and for the Bovines gramineae intake (1.71 ± 1.87) and feces (93.92 ± 3.21). It was concluded that the most important factor that determines the presence or absence of *Romerolagus diazi*, in the study area is that the habitat at least counts with 60% of grass cover (1.4 grass/m^2) with a minimum height of $63.7 \pm 4.8 \text{ cm}$ and $84.5 \pm 2.7 \text{ cm}$ to the base of the grass.

Key words: Habitat use, *Romerolagus diazi*, vegetal community, pulses, disturbance.

3. Introducción

Para establecer la calidad, el uso o la selección de un hábitat por una especie en particular se debe conocer la productividad media de los individuos que viven en él. Esta es una tarea muy difícil, ya que hay que obtener datos precisos sobre natalidad y mortalidad, los cuales requieren de una gran intensidad de muestreo y de un conocimiento profundo de la biología de la especie, así como de los cambios del medio que pueden influir sobre estos factores (Lombardi *et al.*, 2007).

Para conocer el uso del hábitat de una especie es necesario, a su vez, determinar la selección de este mismo hábitat, debido a que implica una decisión tomada por los animales para satisfacer requisitos vitales acerca de alimentación, resguardo y reproducción (Anderson, 1991; Bond *et al.*, 2002). Los requerimientos específicos son influenciados por características inherentes a las especies incluyendo los rasgos de historia de vida, características individuales como sexo y edad y por factores ambientales extrínsecos como competencia, presión de predación y suministro estacional de alimento (Lombardi *et al.*, 2007; Rueda *et al.*, 2008a).

El hábitat de un animal, en forma general, se puede definir como el sitio donde vive, sin embargo, en forma práctica se ha utilizado de diversas maneras; por ejemplo, para describir los tipos de vegetación de una zona determinada (Aranda, comunicación personal, 2005). Una definición apropiada es la propuesta por Morrison *et al.* (1992) quienes lo describen como un sitio con la combinación de recursos y condiciones

ambientales que promueve su ocupación por individuos de ciertas especies, que a la vez permiten su supervivencia y reproducción.

Debido a esto, la selección del hábitat de mamíferos pequeños no es un proceso estable en las escalas temporales y espaciales, ya que estas experimentan dramáticas variaciones estacionales e interanuales en su tamaño de población y abundancia, desde puntos de vista numéricos y estructurales (Wolff, 1997). Los mamíferos pequeños seleccionan hábitat en función de los recursos que este les ofrece (disponibilidad del alimento, refugios contra predadores, etc.), pero muchos otros factores como su historia evolutiva (el plazo que una especie o una población ha vivido en el área), su grado de especialización (generalista o los especialistas en el uso de los recursos del hábitat y del alimento) y la influencia del comportamiento en la distribución de población (competición territorial y de interferencia), también tienen una influencia en la distribución espacial y temporal de los individuos y de las poblaciones (Wolff, 1997).

Los procesos demográficos y la regulación poblacional, como por ejemplo los fenómenos de denso-dependencia (Montgomery, 1989ab), afectan la selección y uso del hábitat por especies territoriales, produciéndose una ocupación máxima de los hábitats óptimos (ambientes con más alimento o más cobertura) por los individuos dominantes o reproductores y un desplazamiento de individuos subordinados a ambientes subóptimos (Wolff, 1997). La viabilidad de las poblaciones en estos últimos dependerá de la plasticidad de cada especie (historia evolutiva, grado de especialización, etc.). Estos gradientes de calidad de hábitat se corresponden con gradientes en la eficacia biológica media de los individuos (Morris, 1989; Halama y Dueser, 1994; Rueda *et al.*, 2008a).

La distribución espacial, el tamaño poblacional y la abundancia exhiben una relación estrecha con la estructura del hábitat en mamíferos pequeños, a dos escalas: a de nivel de paisaje (macrohábitat) y a pequeña escala (microhábitat); en general, las respuestas de los mamíferos pequeños a estas escalas dependen del grado de especialización en el uso de los hábitats. Por ejemplo, las especies generalistas presentan una respuesta indeterminada a gradientes del macrohábitat (diferentes hábitats) y una estrecha asociación con la estructura del microhábitat; patrones

opuestos se presentan en especies especialistas. Por consiguiente, un especialista ligado a un determinado hábitat mantendrá asociaciones estrechas con aquellos rasgos del hábitat que representen verdaderos indicadores de la disponibilidad de recursos (Seamon y Adler, 1996). La composición de las pequeñas comunidades de mamíferos, el tamaño de las poblaciones y la abundancia de las especies en ecosistemas de bosque se relacionan con la capacidad de carga del hábitat (Mazurkiewicz, 1991). En mamíferos pequeños, un hábitat dado puede mantener una abundancia y riqueza de especies determinadas dependiendo de las características del microhábitat que proporciona el alimento y protección contra los depredadores (Yahner, 1982; Lin y Batzli, 2001; Rueda *et al.*, 2008a). En muchos casos los mamíferos pequeños tienen preferencia por hábitats con alta cantidad de cubierta vegetal más que por un hábitat rico en alimentos (Kotler y Brown, 1988), un hecho que está vinculado con el riesgo a ser percibido por depredadores (Bowers, 1988, Díaz 1992, Lagos *et al.*, 1995; Rueda *et al.*, 2008b), este parece ser el caso de *Romerolagus diazi*.

En mamíferos pequeños, tanto aéreos (Jedrzejewski y Jedrzejewski, 1990) como terrestres (Longland y Price, 1991), la selección de hábitats con vegetación alta y densa se considera como una estrategia contra depredadores. Sin embargo, la cobertura también proporciona recursos alimenticios como hojas, frutas, semillas o insectos. Por otra parte, la depredación no sólo depende de la cubierta vegetal sino de la abundancia y hábitos alimenticios de los depredadores (Lin y Batzli, 1995; Mappes y Ylönen, 1997; Hanski *et al.*, 2001); esta predación es afectada por la cubierta vegetal, tanto en predadores diurnos como nocturnos, principalmente en carnívoros, donde esta cobertura adquiere más importancia (Díaz y Alonso, 2003).

Para las especies presa, como el *Romerolagus diazi*, la presión de predación representa uno de los factores extrínsecos más importantes que influyen en el comportamiento espacial de individuos, así como en la selección y uso del hábitat (Lima y Dill, 1990; Bos y Carthew, 2003). Muchos organismos viven en un conflicto permanente entre diferentes demandas ecológicas, por lo que deben optimizar entre la búsqueda del alimento, la reproducción y evitar ser atacados por un depredador. Por lo tanto, la depredación debe de ser una fuerza selectiva muy fuerte en la evolución de

adaptaciones que minimicen el riesgo de ser depredado mientras se atienden otras actividades (Ydenberg y Hill, 1986, Lima y Dill, 1990, Lima, 1998; Martin, 2002).

La abundancia y el comportamiento de mamíferos presa, como el caso del conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus*) se regulan por la disponibilidad de alimento, reproducción y cobertura de escape contra depredadores, además de tiempos de estiaje. Sin embargo, el efecto de la estructura de la vegetación y las variaciones temporales en disponibilidad de alimento, como determinantes de la selección y uso del hábitat, han sido poco evaluadas hasta el momento. Por ejemplo, en tres áreas colindantes en un ambiente mediterráneo, al estudiar la relación entre dicha especie y su distribución espacial, estructura de vegetación, y cantidad y calidad de alimento (Parque Nacional Doñana, España), se observó que la diferencia en el tamaño del ámbito hogareño respondió a las diferencias en coberturas de la vegetación; éstas difirieron en rangos menores y con proporción más alta de vegetación de escape, asimismo, se ha reportado que los patrones de selección de hábitat varían entre las tres áreas en función de la necesidad de los conejos de aprovechar al máximo el recurso, así como optimización para acceder al alimento y zonas de refugio. Este patrón manifiesta la selección del hábitat dentro de su ámbito hogareño, además de la consistencia con la alta plasticidad del comportamiento del conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus*) en sus hábitats nativos, por estas razones se puede proveer valiosa información sobre el manejo del hábitat (Lombardi *et al.*, 2007).

Con la finalidad de evaluar el efecto de la estructura de la vegetación en una especie en peligro de extinción, se evaluó la presencia del conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus*) utilizando un modelo de regresión logística para explicar su distribución espacial, con base en descriptores de estructura de paisaje (número de unidades de vegetación homogéneas, sus áreas y valores diversidad e índices de heterogeneidad). Todas las variables fueron medidas en áreas de cacería dentro del Parque Nacional de Peneda-Gerês, en el norte de Portugal. Los resultados mostraron la preferencia del conejo primordialmente por áreas que ofrecen cobertura de vegetación y alberge, especialmente a base de arbustos, y cobertura con alta fragmentación y alta disponibilidad de recursos. Este animal evita paisajes con cobertura vegetal homogénea y continua (Monzón *et al.*, 2004).

Para el caso de lagomorfos con distribución en áreas restringidas, se encuentran varios ejemplos del uso que hacen del hábitat, interacciones con otras especies y el efecto de la estructura vegetal; por ejemplo, se ha reportado para el conejo del pantano (*Sylvilagus aquiatricus*) que en algunos sitios es simpátrico con el conejo castellano (*Sylvilagus floridanus*) y cuya distribución se ubica en las costa del Golfo de México (Texas, Luisiana, Mississippi y Alabama, EUA), además de el suroeste de Indiana y oeste de Carolina del Sur, EUA (Allen, 1985).

El *Sylvilagus aquiatricus* tiene la característica de usar solo hábitats cercanos (menos de 2 km) a fuentes de agua y humedales, también se les encuentra cercanos a las riveras de ríos y planicies cercanas a los pantanos. Este animal prefiere áreas con amplia densidad de gramíneas y juncias como estrato herbáceo durante la mayor parte del año (final de primavera, verano e inicio de otoño), el cual utiliza como cobertura de escape y, a su vez, es su principal fuente de alimentación; sin embargo, en algunas ocasiones ejemplares han sido vistos usando a las fuentes de agua como vías de escape. Por consiguiente, se ha establecido que para mantener poblaciones viables de esta especie se necesitan superficies iguales o mayores a 100 ha; de hecho, se han observado densidades de un conejo/2.4 ha en Indiana, EUA, y de un conejo/7.1 ha en Georgia, EUA,, mientras que se ha reportado que el ámbito hogareño puede ir de un mínimo de 0.7 ha y 0.3 ha en Missouri, hasta 7.6 ha en Georgia, EUA (Allen, 1985).

El conejo pigmeo (*Brachylagus idahoensis*) no solo es físicamente similar al teporingo sino que también comparte con este algunos patrones de comportamiento en relación con el uso de hábitat. Este conejo, sin embargo, cuenta con patrones de distribución, geográficos y altitudinales que no son tan restringidos como los del conejo de los volcanes, ya que se le puede encontrar en los estados de California, Idaho, Montana, Nevada, Oregon, Wyoming y Washington, desde 1,370 a 2,135 msnm; además, se alimenta y usa como cobertura de escape principalmente a diferentes especies de artemisa (*Artemisia sp.*) (Green y Flindes, 1980; Saylor *et al.*, 2001). Para el caso del *Brachylagus idahoensis*, por medio de sistema de información geográfico (GIS) se desarrolló un modelo para evaluar su hábitat en el sudeste de Idaho, EUA. Las áreas de uso potencial fueron determinadas por medio de GIS de acuerdo a la vegetación y clases geológicas. Sitios probables a ser ocupados dentro de la

vegetación y el hábitat geológico fueron determinados incluyendo la pendiente y el paisaje. Los investigadores seleccionaron áreas al azar dentro y fuera de las áreas investigadas con presencia del conejo, dando como resultado que existe un 57% de probabilidad de predecir áreas ocupadas, además de un 100% de probabilidad de predecir áreas no ocupadas (Gabler *et al.*, 2000; Heady *et al.*, 2001).

En este mismo sentido para el caso del conejo pigmeo (*Brachylagus idahoensis*) en Nevada, EUA, realizaron un estudio para determinar su presencia, esto debido a que existe abundancia de hábitats con estructura vegetal a base de artemisa (*Artemisia tridentata*) y por medio de rastros (letrinas y excretas), se compararon datos en topografía, suelo, litología e hidrología entre los hábitats con presencia y ausencia de rastros, desarrollándose un modelo para predecir la presencia o ausencia del conejo pigmeo. Dicho modelo explicó la presencia de conejos pigmeos o rastros en un 56.7% de los sitios evaluados, asimismo, corroboraron que los animales se encontraban cercanos a arroyos con plantas perennes, tierras más profundas y tierras con características septentrionales. Los resultados de este estudio indican que el conejo pigmeo (*Brachylagus idahoensis*), a pesar de la abundancia de artemisa (*Artemisia tridentata*), es raro en Nevada, en contradicción a lo previamente indicado (Himes y Drohan, 2007). Estos datos concuerdan con lo mencionado por Gabler *et al.* (2000) y Heady *et al.* (2001) para el estado de Idaho, EUA.

Para la determinación y uso de hábitat en conejos silvestres en la región Central de México, se han reportado tres estudios (Bell *et al.*, 1985; Hoth *et al.*, 1987; Fa *et al.*, 1992; Velázquez, 1993; Velázquez y Heil, 1996). El primero estimó el uso de hábitat entre especies de lagomorfos simpátricos de esta zona (*Sylvilagus cuniculus*, *Sylvilagus floridanus* y *Romerolagus diazi*) (Fa *et al.*, 1992), el segundo estudió la fragmentación del hábitat (Velázquez, 1993), y el tercero fue más específico sobre la caracterización del hábitat del zacatuche (*Romerolagus diazi*) en la misma área (Velázquez y Heil, 1996).

Para el primer caso se evaluó el uso de hábitat de los dos conejos del género *Sylvilagus* (*S. cuniculus* y *S. floridanus*) presentes y del *Romerolagus diazi*. La evaluación se realizó en la zona del volcán El Pelado que se encuentra a una altura promedio de 3,620 msnm (Fa y Bell, 1990; Arriaga *et al.*, 2000b), los resultados de ese

estudio indicaron que los *Sylvilagus* se encuentran en $3,194 \pm 140$ msnm, mientras que el *Romerolagus diazi* se distribuye a partir de los $3,252 \pm 123$ msnm; sin embargo, con relación a la abundancia, estas especies tienen una correlación negativa ($r^2 = -0.40$; $P < 0.001$), dado que de los sitios estudiados, solo en un 8% se encontraban compartiendo estos sitios y en solo un 45% se observaron solo rastros de *Romerolagus diazi* y en un 21% solo rastros de *Sylvilagus*.

La abundancia de *Romerolagus diazi* tuvo una correlación positiva con la presencia de gramíneas altas y densas, pero negativa con accesibilidad, pastoreo, quemas y tala forestal de estos sitios. Para los *Sylvilagus* estas correlaciones fueron inversamente proporcionales, siendo su presencia y uso de hábitat asociados a áreas abiertas con presencia de capas de vegetación de baja altura y arbustos. Estos autores concluyen que los sitios sin presencia de *Romerolagus diazi*, correspondían a sitios rocosos y con cobertura vegetal de baja altura, además de bosques de pinos con altitud importante; en relación con los *Sylvilagus*, estos se ubicaban en lugares de fácil accesibilidad, lugares de pastoreo y con actividad de tala forestal (Fa *et al.*, 1992).

Velázquez y Heil (1996) estudiaron la compatibilidad del hábitat para la conservación del *Romerolagus diazi*, tomando en cuenta que históricamente el *Romerolagus diazi* se distribuye en diez y seis parches de vegetación (Velázquez, 1992; Velázquez y Cleef, 1993; Velázquez, 1994). Pare este caso y bajo las condiciones presentes en el volcán El Pelado se han identificado trece comunidades vegetales y los resultados indican que las comunidades de *Festuca tolucensis* y *Trisetum altijugum-Festuca tolucensis* son las que muestran una mayor abundancia de conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*), seguidas por las comunidades de *Muhlenbergia quadridentata-Pinus hartwegii*, *Festuca tolucensis-Pinus hartwegii* y *Pinus sp.-Alnus firmifolia*, mientras que en las restantes ocho comunidades la presencia de *Romerolagus diazi* fue menor (Velázquez, 1992).

Por lo anteriormente analizado, en el presente estudio se planteó como objetivo determinar el uso de hábitat del *Romerolagus diazi*, en diferentes sitios dentro del Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas.

4. Materiales y métodos

4.1. Área de estudio

El presente estudio se realizó en el área natural protegida (ANP) Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas (Figura 1); fueron evaluados cuatro sitios (denominados Altzomoni, El Arco, El Pinar, y El Papayo), los cuales fueron seleccionados con base en la presencia de rastros de *Romerolagus diazi*. Todos estos sitios se encuentran dentro de la Sierra Nevada, un macizo montañoso ubicado en la parte central del Eje Neovolcánico Transversal (Arriaga *et al.*, 2000a),

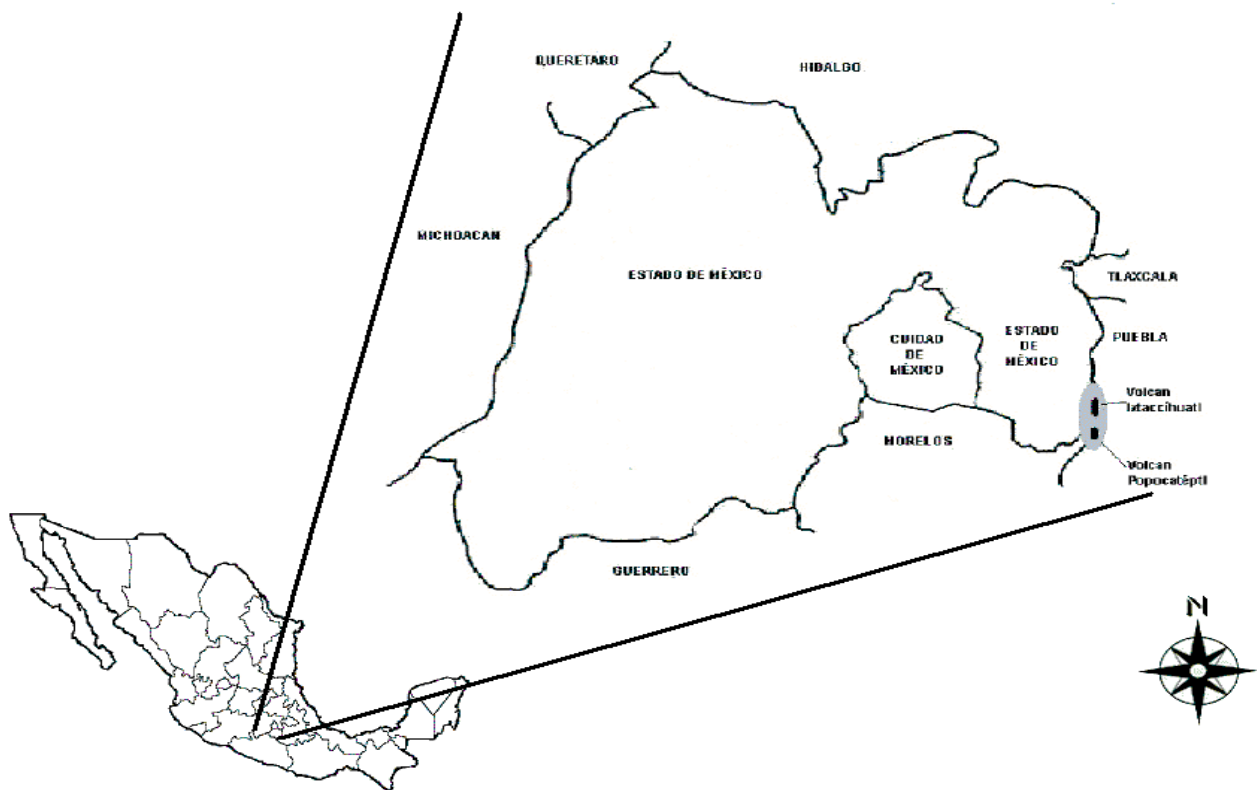


Figura 1. Localización del área de estudio dentro del Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas.

El Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas colinda con los siguientes municipios: Tlalmanalco, Amecameca, Atlauta y Ecatzingo (México); municipios de Huejotzingo, San Salvador el Verde, Domingo Arenas, San Nicolás de los Ranchos, Tochimilco (Puebla) y el municipio de Tetela del Volcán (Morelos). Con relación al

Parque Izta-Popo (Estado de México, Morelos y Puebla) y la Estación Zoquiapan (Puebla), se encuentran entre las coordenadas 18° 54' 39" a 19° 33' 00" latitud N, y 98° 31' 11" a 98° 48' 10" longitud W. El ANP tiene una superficie aproximada de 1,227 km², perteneciendo al Parque Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas 257 km² (Arriaga *et al.*, 2000a).

Los sitios bajo estudio tienen las siguientes características (Figura 2):

Altzomoni: el sitio se ubica en la ladera suroeste del volcán Iztaccíhuatl, entre las coordenadas 19° 07' 29" de latitud N y 98° 39' 00" de longitud W; es una mesa basáltica cubierta de pastizal de altura, , con una pendiente $\leq 4\%$, un rango de altura entre los 3,930 a 3,990 msnm, y una exposición NW (Arriaga *et al.*, 2000a).

El Arco: este sitio se ubica en la ladera noroeste del volcán Popocatepetl, entre las coordenadas 19° 04' 59" de latitud N y 98° 39' 15" de longitud W; la vegetación característica es bosque de pinos con zacatonal, las laderas se caracterizan por una pendiente igual o menor al diez por ciento ($\leq 10\%$), encontrándose entre los 3,650 a 3,700 msnm, con una exposición NW (Arriaga *et al.*, 2000a).

El Pinar: se ubica en la ladera suroeste del volcán Popocatepetl se encuentra entre las coordenadas 19° 05' 21" de latitud N y 98° 38' 11" de longitud W; el paisaje dominante es una llanura cubierta de pastizal, con un ecotono a bosque de pino, y una pendiente igual o menor al dos por ciento ($\leq 2\%$), entre los 3,680 a 3,650 msnm, y una exposición SW (Arriaga *et al.*, 2000a).

El Papayo: se ubica entre la ladera sur del volcán El Papayo y ladera norte de la cabeza del volcán Iztaccíhuatl, entre las coordenadas de 19° 18' 01" de latitud N y 98° 42' 05" de longitud W; corresponde a una planicie en la que se desarrolla un bosque mixto (pino-oyamel) con zacatonal ($\leq 5\%$), se encuentra entre los 3,218 a 3,227 msnm y una exposición SE (Arriaga *et al.*, 2000a).

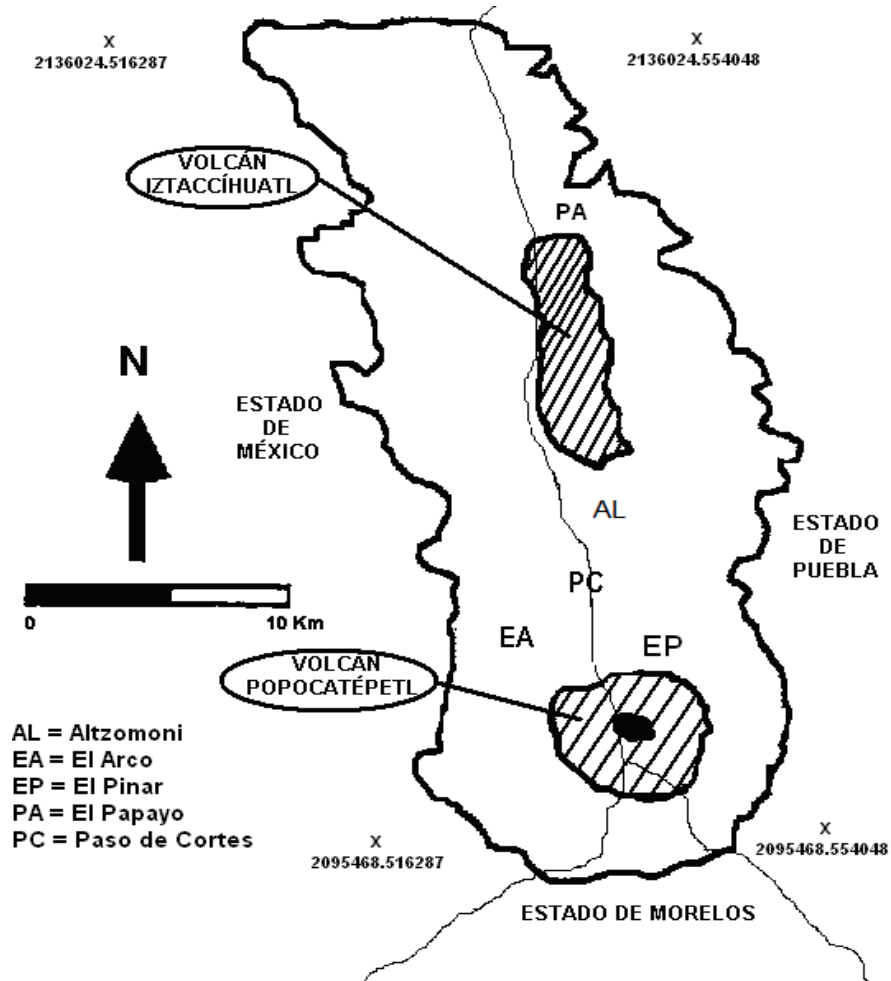


Figura 2. Ubicación de los sitios de muestreo del *Romerolagus diazi*, en el Parque Nacional Iza-Popo, Zoquiapan y Anexas.

4.2. Método

Dentro del área de estudio, se ubicaron y geoposicionaron (GPS *Legend etrx*, Garmin®) sitios con rastros de *Romerolagus diazi*. Agrupando a los individuos presentes en relación a las comunidades vegetales presentes en cada uno de los sitios,

4.2.1. Muestreo de vegetación

Para caracterizar la vegetación se marcaron cuadrantes de 5 m², cinco por sitio y por estación, para un total de cien cuadrantes; se realizaron mediciones de las

comunidades vegetales en cada uno, siguiendo los métodos de Mueller-Dombois y Ellen-Berg, Westhoff y van der Maarel (citados por Velázquez, 1994).

4.2.2. Uso de hábitat

Para la caracterización del uso de hábitat este se realizó, tomando cada una de las letrinas presentes en estos sitios (Cuadro 3 del Capítulo I; Figura 2), por medio de una Línea de Canfield (Bond *et al.*, 2002) y sus cambios mensuales en el periodo de estudio (diciembre del 2003 a febrero del 2005).

Las variables evaluadas por medio de la Línea de Canfield (10 m) fueron tipo de paisaje, gramíneas presentes, suelo desnudo, roca aflorante, material leñoso, mantillo, número de árboles, diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura del árbol más cercano (Altímetro Haga, © Haga GmbH & Co. KG, Nürnberg, Germany), perturbación (animal y humana), pendiente del paisaje, pendiente de la letrina, exposición, distancia al ecotono (Bushnell Yardage Pro Laser Rangefinder 8X36, EUA), distancia al camino más cercano (Bushnell Yardage Pro Laser Rangefinder 8X36, EUA).

4.2.3. Variables de estudio.

Se realizaron cien cuadrantes, cuatro por cada uno de los sitios y por cada estación del año, lo que correspondería a veinticinco cuadrantes por sitio, dentro de estos cuadrantes

Tipo de paisaje: se determinó con base a Lugo (1984).

Gramíneas: el porcentaje que ocupan los zacatones (gramíneas amacolladas) a lo largo de la Línea de Canfield.

Suelo desnudo: porcentaje del suelo a lo largo de la línea, que no se encuentra cubierto por vegetación.

Roca aflorante: es la roca (%) que sobresale del suelo y que a su vez no está cubierta por vegetación, dicha cobertura puede variar de estación a estación, no importando la altura de la roca sobre el nivel del suelo, solo el porcentaje de esta

Material leñoso: son aquellos vestigios (%) de árboles que ocupan un espacio en la superficie del suelo.

Mantillo. Se refiere al material como hojarasca que llegar a cubrir el suelo, sin ser parte de las gramíneas.

Número de árboles: el número de árboles de las especies presentes, dentro del polígono correspondiente al ámbito hogareño del *Romerolagus diazi*.

Árbol más cercano: diámetro (cm) a la altura del pecho (1.5 m) del árbol más cercano a la letrina evaluada, así como la altura y el máximo de su sombra.

Perturbación: esta fue determinada como cuerpos diferentes a la vegetación del hábitat, tomado esto como excretas de otros animales, principalmente bovinos y humanos, en relación a los bovinos se tomo excretas y rastros de consumo de zacatones, y en humanos, como basura orgánica e inorgánica.

Pendiente del paisaje: la pendiente (%) del terreno donde se encuentra la colonia.

Pendiente de la letrina: la pendiente (%) de terreno donde se encontró la letrina.

Exposición de la pendiente: ubicación de la ladera o planicie en relación a los puntos cardinales.

Distancia al ecotono: distancia (m) al lugar donde cambia de paisaje, ya sea de bosque a pradera o de pradera a bosque.

Distancia al camino más cercano: distancia (m) a donde se encuentra un camino ya sea en uso o abandonado.

4.3. Análisis Estadístico

Se aplicaron análisis de Componentes Principales, Análisis Discriminantes y Correlación Canónica (Adler 1985; Fa *et al*, 1992; Velázquez, 1994; Velázquez *et al.*, 1996), mediante el paquete computacional Statistical Analysis System (SAS, 1988). Similar a los análisis aplicados por Austin (1987); Sardinero (2000); Palmer (2003); citados por Sánchez-González y López–Mata, 2003.

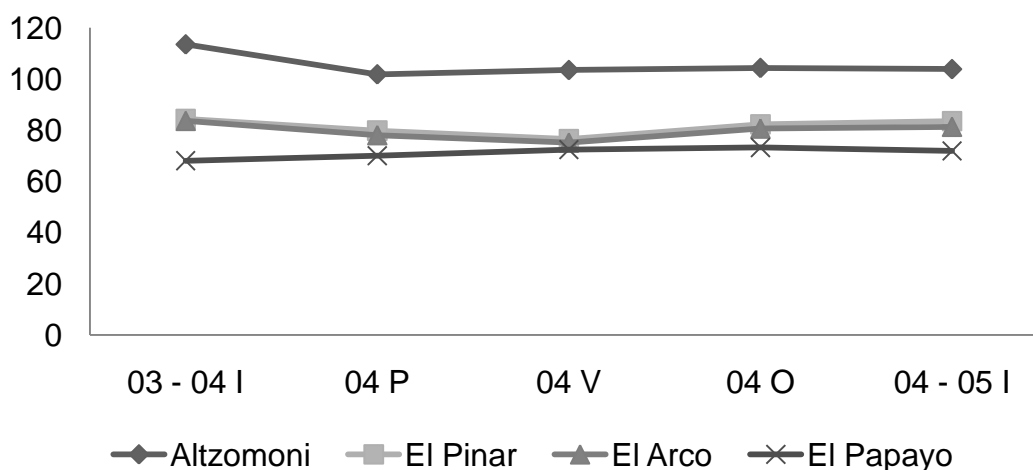
Las variables fueron: diferencias entre el uso de hábitat entre paisajes, determinando cual de las comunidades vegetales es en el que se presentan mayores rastros y uso del hábitat del *Romerolagus diazi*. Este análisis se realizó por medio de Componentes Principales, debido a que permiten detectar cambios de la estructura y distribución de la vegetación (Austin, 1987; Sardinero, 2000; Palmer, 2003; citados por Sánchez-González y López–Mata, 2003).

5. Resultados

5.1. Tipos de vegetación

Se encontraron catorce especies vegetales (Cuadro 1 del Capítulo IV), identificando los géneros y familias de las catorce especies, correspondiendo cuatro a la familia *Poaceae* (*Festuca toluensis*, *Muhlenbergia emersleyi*, *Muhlenbergia macroura*, y *Arundinella deppeana*), tres a la familia *Pinaceae* (*Abies religiosa*, *Pinus hartwegii*, y *Pinus monctezumae*); de las restantes, solo un por familia *Scrophulariaceae* (*Penstemon gentianoides*), *Rosaceae* (*Acaena sp.*), *Fabeceae* (*Lupinus sp.*), *Apiaceae* (*Eryngium sp.*), *Geraniaceae* (*Geranium bellum*), *Asteraceae* (*Gnaphalium sp.*) y *Dicotiledonea* (*Dicotiledona sp.*).

Solo *Lupinus sp.* y *Eryngium sp.* se encontraron en los cuatro sitios muestreados, independientemente de la época del año. Asimismo, en Altzomoni, durante la época de lluvias, fue la que mostró mayor diversidad vegetal (85.71%) con doce de las catorce especies identificadas en este estudio. Por otra parte, El Pinar fue el sitio con una menor diversidad (21.42%), siendo *Festuca toluensis*, *Lupinus sp.* y *Eryngium sp.* las especies presentes durante todo el año



Grafica 1. Altura (cm), durante las diferentes épocas del año, de las gramíneas amacolladas (*Muhlenbergia macroura*, *Muhlenbergia emersleyi*, *Festuca toluensis* y *Arundinella deppeana*).

Asimismo, la mayor frecuencia de aparición correspondió principalmente a *Muhlenbergia macroura* (97.3%) para Altzomoni, a pesar de que en este sitio fue donde existió el mayor porcentaje de diversidad vegetal. A su vez, en la Grafica 1, se pueden observar el comportamiento durante el periodo de muestreo de la altura media de las gramíneas amacolladas (*Muhlenbergia macroura*, *Muhlenbergia emersleyi*, *Festuca toluensis* y *Arundinella deppeana*), observando diferencia significativa ($P < 0.05$) entre Altzomoni y el resto de los sitios.

En el Cuadro 1 se presentan las medias de la densidad de gramíneas por m², altura media de gramíneas, altura máxima, altura mínima y diámetro de la base de las gramíneas; se observa que existieron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre Altzomoni y el resto de los sitios, haciendo notar que existió el mismo comportamiento en relación a la abundancia relativa y el tamaño de población que se encuentran en esta misma tesis.

Cuadro 1. Medias de la densidad por m² de gramíneas, altura media, altura máxima, altura mínima y diámetro de las gramíneas amacolladas.

Sitio	Gramíneas	Altura	Máxima	Mínima	Diámetro
Altzomoni	2.6 ± 2.8 ^a	105.3 ± 4.6 ^a	120.1 ± 12.3 ^a	81.7 ± 6.4 ^a	126.0 ± 4.4 ^a
El Pinar	1.9 ± 0.0 ^b	81.3 ± 3.1 ^b	91.5 ± 5.3 ^b	75.0 ± 2.8 ^b	90.4 ± 3.8 ^b
El Arco	1.6 ± 2.5 ^b	79.7 ± 3.2 ^b	97.6 ± 3.3 ^b	70.1 ± 3.1 ^b	79.7 ± 3.2 ^b
El Papayo	1.4 ± 0.0 ^b	71.1 ± 2.0 ^c	78.0 ± 1.7 ^c	63.7 ± 4.8 ^c	84.5 ± 2.7 ^b

^{abc} Literales distintas en la columna son diferentes ($P < 0.05$)

En este mismo sentido se observaron menores diferencias entre las alturas máximas y mínimas de las gramíneas para El Pinar, El Arco y El Papayo (16.5, 27.5, y 14.3 cm, respectivamente); con relación a Altzomoni (38.4 cm), este parece responder en mayor medida a la estación de lluvias (invierno-primavera) y al estiaje (verano-

otoño), lo que implica que en los tres primeros sitios parece existir una mayor estabilidad del hábitat.

En la Figura 3 se representan los *eigenvalues* a los que dan similitud entre las tres comunidades de plantas que se reconocieron (1. *Muhlenbergia macroura-Muhlenbergia emersleyi-Arundinella deppeana*; 2. *Festuca toluensis-Pinus hartwegii*; y 3. *Festuca toluensis-Pinus sp.-Abies religiosa*); para este estudio no se usaron los niveles de corte para diferenciar a las plantas como lo realizó Rangel (1996).

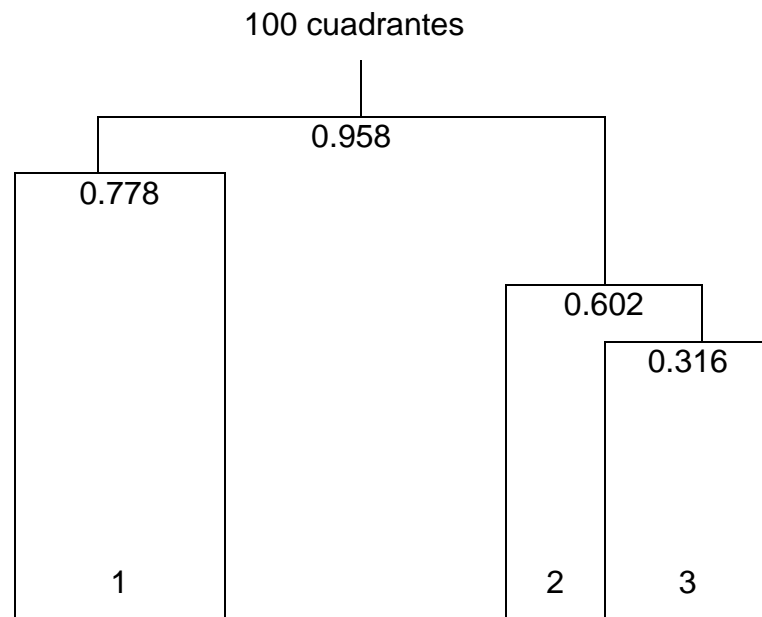


Figura 3. Dendrograma de las comunidades de plantas identificadas en los sitios evaluados dentro del Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas.

Comunidades vegetales: 1. *Muhlenbergia macroura-Muhlenbergia emersleyi-Arundinella deppeana*; 2. *Festuca toluensis-Pinus hartwegii*; y 3. *Festuca toluensis-Pinus sp.-Abies religiosa*.

5.2. Uso de hábitat

Se analizaron los datos tanto para establecer la comparación entre los sitios así como dentro de cada sitio, y la época del año de las variables anteriormente mencionadas.

Como se muestra en el dendrograma (Figura 4), dos componentes (altura de gramíneas y diámetro de gramíneas) explican el 76.8% de la presencia de *Romerolagus diazi* en los sitios estudiados. Asimismo, las variables que obtuvieron > 0.05% fueron suelo desnudo, perturbación y mantillo, distancia del árbol más cercano, número de árboles, pendiente del paisaje, pendiente de la letrina, exposición, distancia al ecotono y distancia al camino más cercano.

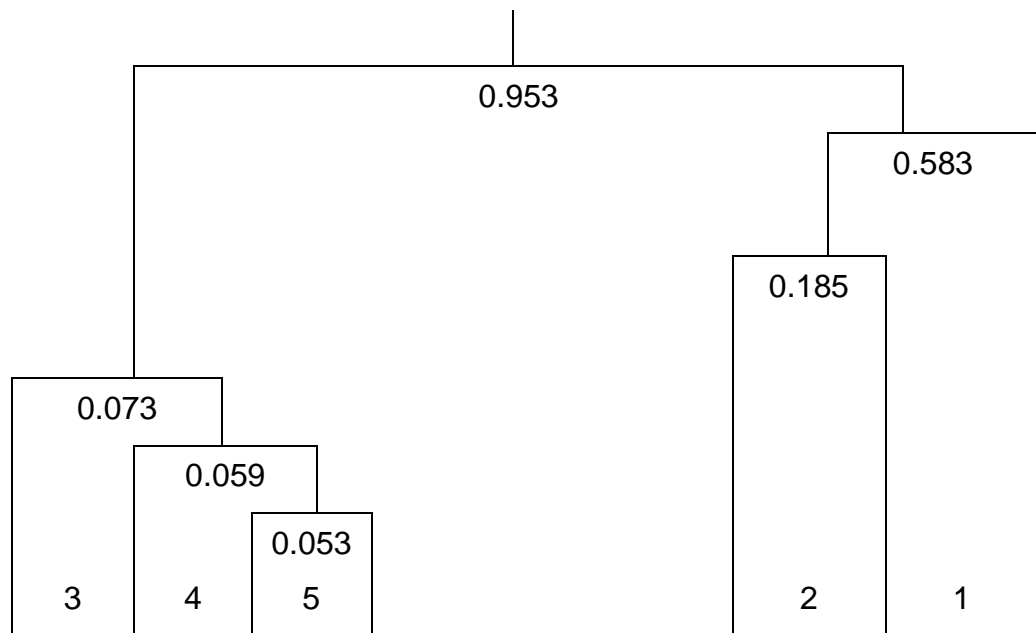


Figura 4. Dendrograma del uso de hábitat en el Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas.

1. Número de gramíneas; 2. Altura de gramíneas, 3. Suelo desnudo, 4 Perturbación,
5. Mantillo.

5.2.1. Comparación del uso de hábitat

En el Cuadro 2 se puede observar que para el componente “presencia de gramíneas” sólo El Pinar (64.04 ± 4.3) presentó diferencia significativa ($P < 0.05$) mientras que el resto de los sitios no, esto es, Alzomoni, El Arco y Zoquiapan con 65.08 ± 4.3 , 65.62 ± 4.9 y 64.74 ± 5.0 , respectivamente. Por otra parte, el factor más importante que determina la presencia o ausencia de *Romerolagus diazi*, es un hábitat que cuente con

más del 60% de gramíneas amacolladas (Cuadro 2), con una altura mínima de 63.7 ± 4.8 cm, y 84.5 ± 2.7 cm a la base de la gramínea (Cuadro 1).

Cuadro 2. Uso de hábitat en los sitios con presencia de *Romerolagus diazi*.

	Sitio			
	Altzomoni	El Arco	El Pinar	El Papayo
Gramíneas	65.08 ± 4.3^a	65.62 ± 4.9^a	61.04 ± 4.3^b	64.74 ± 5.0^a
Suelo desnudo	20.54 ± 4.3^a	0.0 ± 0.0^c	0.0 ± 0.0^c	13.90 ± 3.3^b
Roca aflorante	11.16 ± 4.6^a	1.95 ± 1.3^b	2.86 ± 1.6^b	1.68 ± 1.9^b
Material leñoso	0.0 ± 0.0^c	11.64 ± 4.1^a	10.86 ± 3.8^a	2.18 ± 2.3^b
Mantillo	0.0 ± 0.0^c	15.46 ± 3.5^a	12.84 ± 3.4^b	8.34 ± 1.2^c
Arboles	0.0 ± 0.0^b	2.7 ± 0.9^a	2.3 ± 1.2^a	2.5 ± 0.4^a
Perturbación	3.04 ± 1.3^c	2.54 ± 1.0^c	9.78 ± 2.2^b	6.32 ± 1.2^a
Distancia al camino	112.2 ± 23.4^a	37.8 ± 12.1^b	6.1 ± 0.8^c	47.8 ± 13.4^b

^{abc} Literales distintas en la columna son diferentes ($P < 0.05$).

Altzomoni es el sitio con una mayor distancia al camino (112.2 ± 23.4 m) y donde se obtuvo una diferencias significativa ($P < 0.05$) (Cuadro 2). El Arco (37.8 ± 12.1 m) y El Papayo (47.8 ± 13.4 m), por su parte, tienen distancias sin diferencias significativas ($P > 0.10$), sin embargo, un sitio en donde la distancia no es común, es El Pinar ya que se pueden encontrar letrinas muy cerca del camino (6.1 ± 0.8 m); de hecho, tanto en las mañanas como en las tardes se pueden observar a los teporingos comiendo o atravesando el camino en ese sitio.

5.3. Perturbación

Al realizar el análisis de la perturbación encontrada en el los sitios con presencia de *Romerolagus diazi*, las variables que fueron evaluadas, fueron establecidas dado que se llegaron a observar algunas personas de los pueblos circunvecinos montado a

caballo y trasportando carga en burro, por lo que una variable de estas correspondió a Excretas de equinos (0.85 ± 1.35); para el caso de los Humanos esta se dividió en orgánica (1.63 ± 1.40) e inorgánica (1.87 ± 1.42), y para los Bovinos como consumo de gramíneas (1.71 ± 1.87) y excretas (93.92 ± 3.21), por lo que en el Cuadro 3, se observan los datos para el análisis por época del año, asimismo se hace mención que no se observaron otras especies de animales de uso pecuario en estas áreas, asimismo se identificaron excretas de perros (*Canis familiaris*), gato montés (*Lynx rufus*) y coyote (*Canis latrans*), sin embargo, la mayoría de estas solo estaban sobre los caminos o lejanas a los sitios con presencia de *Romerolagus diazi*, siendo esto razonable, ya que si el *Romerolagus diazi* detecta presencia de predadores, su colonia la trataría de establecer lejos de estos y a su vez de otros predadores.

Cuadro 3. Perturbación por estación del año.

	ESTACIÓN				
	03-04 I	04 P	04 V	04 O	04-05 I
Equinos					
Excretas	0.41 ± 0.8^b	0.69 ± 1.1^b	0.90 ± 1.3^a	1.04 ± 1.5^a	1.10 ± 1.5^a
Humanos					
Orgánico	1.26 ± 1.4^b	1.95 ± 1.5^a	1.42 ± 1.2^b	1.26 ± 1.2^b	2.05 ± 1.4^a
Inorgánico	1.27 ± 1.3^b	2.12 ± 1.4^a	1.74 ± 1.2^a	1.72 ± 1.3^a	2.33 ± 1.3^a
Bovinos					
Consumo	1.70 ± 2.3^b	2.43 ± 2.1^a	2.38 ± 1.7^a	1.36 ± 1.3^b	0.92 ± 1.0^c
Excretas	95.23 ± 3.1	92.79 ± 3.4	93.53 ± 2.8	94.58 ± 3.0	93.58 ± 2.9

^{abc} Literales distintas en la columna son diferentes ($P < 0.05$)

03-01 I = Invierno 03-04; 04 P = Primavera; 04 V = Verano 04;

04 O = Otoño 04; y 04-05 I = Invierno 04-05.

En relación a la época del año, para estas variables de perturbación por excretas pudiera existir un sesgo, dado que estas excretas no fueron retiradas al momento del muestreo y tampoco se integraron al terreno, entre cada uno de los muestreos, por lo que se contabilizaron desde el momento de su aparición hasta finalizado este estudio, sin embargo, la justificación de esto es que la perturbación se mantuvo, además de que lo que si ha existido es una campaña permanente de colecta de basura inorgánica, por lo que se ha incrementando el porcentaje de esta como se puede observar diferencias significativas ($P < 0.05$) en el Cuadro 3, que se incremento de lo observado en el invierno del 2003-2004 (0.41 ± 0.8) al invierno del 2004-2005 (1.10 ± 1.5). Esto mismo se puede observar para el caso tanto de la basura orgánica (1.36 ± 1.4 vs 2.05 ± 1.4) como inorgánica (1.27 ± 1.3 vs 2.33 ± 1.3) de humanos que en el invierno del 2003-2004 al invierno del 2004-2005, se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$).

El consumo de de gramíneas por parte de los bovinos se vio disminuida ($P < 0.05$), ya que mientras que en el invierno del 2003-2004 correspondió a 1.70 ± 2.3 , para el invierno del 2004-2005 fue de 0.92 ± 1.0 , esto debido a que a partir del segundo semestre del 2003, se inició un programa de engorda de ganado en corral, y se les proporcionó a los propietarios de bovinos que se encontraban en libertad el área del parque, un corral donde podían tener a sus animales, además de servicio Médico Veterinario por parte del Municipio de Amecameca Estado de México, lo que sirvió para disminuir el número de bovinos presentes en el parque, sin embargo, hasta la fecha no se han eliminado totalmente. Lo que no tuvo diferencias significativas ($P > 0.10$) fue la presencia de excretas de bovinos, que son la mayor fuente de perturbación en los sitios con presencia de *Romerolagus diazi* dentro del Parque Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas.

Al comparar los diferentes sitios (Cuadro 4) se puede observar que las excretas de equinos, solo en el Altzomoni (0.00 ± 0.0) no se encontraron rastros de estos ($P < 0.05$), la razón pudiera ser que es un terreno de muy amplia visibilidad y sin árboles, sin embargo, la principal razón de esto es que las poblaciones no se encuentran tan cercanas como es en el caso de El Papayo, El Arco y El Pinar (2.03 ± 1.6 ; 0.26 ± 0.5 ; 1.67 ± 1.3 ; respectivamente), este ultimo además es donde se llegan a pernoctar los peregrinos y abunda el comercio de alimentos, asimismo, se observaron diferencia significativa entre todos los sitios muestreados ($P < 0.05$).

Cuadro 4. Perturbación por sitios con presencia de *Romerolagus diazi*.

	SITIO			
	Altzomoni	El Pinar	El Arco	El Papayo
		Equinos		
Excretas	0.00 ± 0.0 ^c	1.67 ± 1.3 ^b	0.26 ± 0.5 ^c	2.03 ± 1.6 ^a
		Humanos		
Orgánico	1.57 ± 1.5 ^b	1.84 ± 1.2 ^b	0.87 ± 1.0 ^c	2.35 ± 1.2 ^a
Inorgánico	1.79 ± 1.2 ^b	2.13 ± 1.5 ^a	1.71 ± 1.4 ^b	1.88 ± 1.5 ^b
		Bovinos		
Consumo	2.32 ± 2.4 ^a	1.17 ± 1.2 ^b	1.40 ± 1.4 ^b	1.59 ± 1.4 ^b
Excretas	94.31 ± 3.1 ^a	93.17 ± 2.9 ^b	95.74 ± 2.2 ^a	92.13 ± 3.4 ^b

^{abc} Literales distintas en la columna son diferentes (P < 0.05)

03-01 I = Invierno 03-04; 04 P = Primavera; 04 V = Verano 04;

04 O = Otoño 04; y 04-05 I = Invierno 04-05.

Para el caso de perturbación antropogénica, el sitio con mayor perturbación fue El Papayo tanto de basura orgánica como inorgánica, para el caso de la basura orgánica, esto correspondió a desperdicios de comida así como de excretas, debido que durante el tiempo en que se realizó el estudio, se encontraban reforestando parte de esta zona, siendo también esta la razón por la que se encontraron los restos de la bolsas en las crecen y transportan los pinos que fueron sembrados, y ocupando el siguiente lugar El Pinar, por las razón antes mencionadas que este sitio es ocupado para pernoctar por lo peregrinos a su paso al templo de Chalma Edo. de México y la Basílica de Guadalupe en el Distrito Federal.

Para el caso de perturbación por efecto de presencia de bovinos, se encontraron diferencias significativas (P < 0.05) tanto para consumo de gramíneas como para excretas (1.17 ± 1.2 y 93.17 ± 2.9, respectivamente) entre El Pinar y el resto de los sitios, esto es debido al efecto de que en este sitio es donde mayores actividades

antropogénicas se realizan, lo que puede considerarse que ahuyenta a los bovinos, mientras que el Alzomoni, El Arco y El Papayo (2.32 ± 2.4 y 94.31 ± 3.1 ; 1.40 ± 1.4 y 95.74 ± 2.2 ; 1.59 ± 1.4 y 92.13 ± 3.4 , respectivamente), los animales pastorean libremente, además de ser sitios de paso y la gente no se detiene, no habiendo actividades.

6. Discusión

6.1. Tipos de vegetación

Como se pudo observar en el Cuadro 1 del Capítulo IV, la vegetación identificada dentro de los cuadrantes muestreados en los sitios con presencia de *Romerolagus diazi*, correspondió solo a catorce especies, en este sentido, se encuentran reportados en la literatura para sitios con presencia de *Romerolagus diazi* (volcanes Tláloc y El Pelado), trece comunidades de vegetación natural y tres de vegetación semi-natural (Velázquez y Cleef, 1993; Velázquez, 1994), en este mismo sentido para el área del Iztaccíhuatl se reportan cuatro grupos de comunidades de plantas que correspondieron a: *Almagrositis tolucensis*, *Lupinus montanus*, *Muhlenbergia macroura* y *Arenaria bryoides*, en este mismo estudio se hace notar que en los sitios con presencia de *Romerolagus diazi* (Volcanes Tláloc, Pelado, Iztaccíhuatl y Popocatepetl) se reconocieron 208 especies vegetales identificando 159 a nivel de especie, 35 a nivel de género, nueve a nivel de familia, cuatro del grupo de las briofitas, de estas tres a nivel de especie y una no identificada, así como un líquen sin identificar (Rangel, 1996). Para el caso del consumo de estas plantas, se ha reportado que está basado en 21 especies diferentes y algunos materiales no reconocidos (Cervantes y Martínez, 1992).

Se ha reportado que el bosque de pino (*Pinus hartwegii*) es el dominante fisonómico y estructural por arriba de los 3,500 msnm y se hace menos denso y fisonómicamente distinto a partir de los 3,900 msnm, donde coexiste con pastizal alpino (Rzedowski, 1988,1991,1993; Rzedowski, y Rzedowski, 1990; Sánchez-González y López-Mata, 2003), lo que coincide con las observaciones en este estudio, ya que en El Arco, El Pinar y El Papayo (3,641.62, 3,682.61, 3,423.30 msnm, respectivamente), fue donde se observó mayor número de pinos (*Pinus hartwegii* y *Pinus montezumae*) en comparación de Alzomoni (3,957.42 msnm), donde solo se encontraba un pino (*Pinus*

hartwegii) en las cercanías del polígono muestreado, además de considerarse como achaparrado, corroborando lo reportado por Sánchez-González y López-Mata (2003), para la zona norte de la Sierra Nevada. Este mismo patrón se ha reportado para pinos y zacatonal de altura la para los volcanes Tláloc y El Pelado (Velázquez y Cleef, 1993; Velázquez, 1994).

Asimismo en este estudio se pudo identificar *Muhlenbergia macroura* en Altzomoni, que se encuentra a una altura media de 3,957.42 msnm, cuando la mayor parte de la literatura indica que esta gramínea solo se encuentra en el área del Izta-Popo entre los 3,500 y los 3,600 msnm.(Rzedowski, 1988,1991,1993; Rzedowski, y Rzedowski, 1990; Chávez y Trigo, 1996).

6.2. Uso de hábitat

Para el caso del uso de hábitat, en este estudio se observó que el valor mínimo de la media ($\mu \pm EE$) para la presencia de gramíneas amacolladas fue de 61.04 ± 4.3 para el sitio El Pinar (Cuadro 2C), y dentro de las variables evaluadas esta de gramíneas amacolladas y perturbación, fueron las dos únicas que en algunos de los sitios no presentaron un valor de 0, de una forma genérica se ha indicado que las comunidades vegetales que usa el *Romerolagus diazi* están compuestas por *Pinus-Alnus-Muhlenbergia* (Velázquez, 1990), asimismo en este sentido la diversidad de gramíneas encontradas en los sitios de este estudio correspondió solo a *Festuca tolucensis*, *Muhlenbergia emersleyi*, *Muhlenbergia macroura*, y *Arundinella deppeana*, mientras que se a reportado que la cobertura en los sitios con presencia de *Romerolagus diazi* corresponde principalmente a *Muhlenbergia macroura*, *Festuca rosei*, *Festuca amplissima* y *Stipa ichu*, que a su vez los usan como fuente de alimentación, sin embargo también estas gramíneas amacolladas se asocian con algunos pastos como *Penstemon stenophyllus*, *Geranium potentillae*, *Stachys agraria*, *Lupinus montanus*, *Senecio salignus*, *Gnaphalium conoideum*, *Plantago patagonica*, *Bidens diversifolia*, *Alchemilla sebaldiaefolia*, *Museniopsis arguta*, *Dahlia*, *Salvia*, *Eryngium*, *Verbena*, *Scutelaria*, *Cyrsium*, *Draba*, y *Geranium*, de la cuales en los sitios que se evaluaron solo se encontraron *Penstemon gentianoides*, *Lupinus sp*, *Gnaphalium sp.*, *Eryngium*

sp., *Geranium bellum* (Cervantes, 1980; Cervantes *et al.*, 1990; Cervantes y Martínez, 1992,1996).

Para determinar que hábitat es el que usa el *Romerolagus diazi*, se ha aplicado el análisis multivariado y una prueba de G, en este sentido se reportó que al agrupar por comunidades de vegetación, el *Romerolagus diazi* usa de una manera mayor las comunidades compuestas por *Pinus sp.* y *Festuca tolucensis*, en comparación con las comunidades de *Arenaria brioides* y *Festuca lívida*; *Calamagrostis tolucensis* y *Festuca livida*; *Festuca tolucensis* y *Calamagrostis tolucensis*; *Muhlenbergia macroura* y *Pinus sp.*; *Alnus sp.* y *Muhlenbergia macroura*; *Festuca amplissima* y *Abies religiosa*, *Abies religiosa* y *Senecio barba-johannis*; y *Cupressus lindleyi* y *Abies religiosa* (Velázquez *et al.*, 1996). Sin embargo, en otro estudio también agrupando comunidades se reporta que el *Romerolagus diazi*, usa de una mayor manera las comunidades de *Festuca tolucensis*, *Trisetum-Festuca tolucensis*, respectivamente, seguidas por las comunidades de *Muhlenbergia quadridentata-Pinus hartwegii*, *Festuca tolucensis-Pinus hartwegii* y *Pinus sp.-Alnus firmifolia* (Velázquez y Heil, 1996), para este estudio el mayor número de *Romerolagus diazi*, se encontró para la comunidad de *Muhlenbergia macroura-Muhlenbergia emersleyi-Arundinella deppeana*, siendo este su orden de porcentaje de aparición, sin embargo, también se encontraron poblaciones aparentemente estables en comunidades de *Festuca tolucensis-Pinus hartwegii*, correspondientes a El Arco y El Pinar. Se ha reportado que en caso del conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus*) este es más abundante en el ecotono, lo que no se observó en este estudio, ya que los rastros de conejo, se encontraban en sitios, con comunidades vegetales bien definidas, y que *Oryctolagus cuniculus*, se encuentra en mayor parte en estos sitios se debe a que son más abundantes y ricas sus pasturas (Lombardi *et al.*, 2003).

Estos cambios en el uso de hábitat en este estudio puede explicarse con lo reportado en la literatura, ya que pueden haber presentado un efecto similar a lo que se observó entre 1986 y 1997, donde al inicio por medio de fotografías satelitales era posible detectar nueve clases de cubierta vegetal, sin embargo, para 1997 dos tipos importantes de la cubierta vegetal fueron deducidos, un tipo semi-natural (cosechas y

vegetación secundaria) y una de cobertura (bosque del abeto, pastizal de altura) (Velázquez *et al.*, 2001; 2003).

En este estudio coincide en algunos puntos con lo reportado ya que, los sitios de estudio El Papayo (3,423.30 msnm) que era el de menor altura, se encontraba por encima de los $3,252 \pm 123$ msnm (Fa *et al.*, 1992), que es la altura que se reportada como altura media, las colonias dentro de este estudio todas tuvieron accesibilidad y aunque no se puede considerar como un pastoreo intensivo, siempre hubo la presencia de bovinos pastoreando, lo que no corresponde con lo reportado por Cervantes *et al.* (1990) y Fa *et al.* (1992),

Para el caso de este estudio una explicación de por qué las fluctuaciones en el uso de hábitat y del número de conejos en Altzomoni es mayor que en El Pinar y El Arco donde tanto el uso del hábitat como las poblaciones se mantienen en aparente estabilidad, es lo que se indica para pequeños herbívoros bajo condiciones Mediterráneas, que principalmente en invierno y primavera, la preocupación del conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus*) es conseguir refugio, cuando el alimento es abundante, mientras que en verano al iniciar la época de sequía, la importancia del refugio desaparece y el valor nutritivo se convierte en un factor importante (Rueda *et al.*, 2008b). En este sentido pudiera parecer contradictorio que temporadas de lluvias con altas precipitaciones disminuyeran la abundancia de conejos, como lo reportado para el suroeste de Europa entre los años de 1995 a 1997, donde se observó una disminución de la densidad del conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus*), atribuyéndolo a que estos conejos hacen sus madrigueras en sitios planos (Palomares, 2003), en este estudio esta condición no fue observada para el *Romerolagus diazi*, ya que además de subir sus poblaciones durante y un poco después de la época de lluvias, la evidencia es que sus letrinas están en una pendiente entre $> 2\%$, asumiendo que sus madrigueras tendrán al misma condición y no se inundan en época de lluvias.

Asimismo este patrón de comportamiento y uso de hábitat se manifiesta de acuerdo a la edad de los conejos, dado que los conejos adultos se mantienen alimentándose en sitios con baja cobertura que aumentan la visión de los predadores, mientras que los juveniles, depende más del número y distancia de las letrinas, mientras en invierno los adultos sacrifican parte del aporte nutricional del forraje, en

busca de una mayor cobertura, además de que el aporte nutricional de este mismo forraje baja, concluyendo que la estación del año y la edad son factores que modifican el uso del hábitat (Rueda *et al.*, 2008a), sin embargo, para invierno los juveniles llegan a mostrar una pérdida del 22.3% de su peso vivo, mientras que los adultos solo el 9.7% en relación al peso que mostraban en otoño (Rödel, 2005). Por lo anterior podría explicar de alguna manera, que en este estudio durante la época de sequia solo se encuentren excretas de *Romerolagus diazi* que por su diámetro (> 5 mm) se asume que corresponden a adultos, lo que estaría modificando la estructura de población y a su vez el uso de hábitat por influencia de la estación, sin embargo, hay que tomar en cuenta que se ha indicado que el tamaño de la excreta al menos para el conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus*), no es un indicador fidedigno de la edad de los lagomorfos y hay que tener cuidado con su uso (Delibes-Mateos *et al.*, 2009). En este sentido Lombardi *et al.* (2007) sugieren que las diferencias de tamaño de ámbito hogareño y tamaño de la población, responden a las diferencias en cobertura de abrigo y protección, además en términos de la necesidad de los conejos a maximizar el recurso de alimentación y refugio más escaso de cada situación (Beja *et al.*, 2007). Además pudiera aparecer un proceso similar al observado para *Lepus americanus* en que la depredación se centrada en las liebres pequeñas, sugiriendo que el pobre reclutamiento de animales juveniles puede ser el mecanismo al cual se debe que las poblaciones no incrementen su número (Wirsing *et al.*, 2002), lo que puede aplicar también para el *Romerolagus diazi*.

6.3. Perturbación

Un problema poco evaluado es la perturbación que se llega a provocar sobre el hábitat donde se encuentran los organismos, esto toma una mayor relevancia cuando estos organismos se ubican en algún estatus de conservación, es por esta razón que en un intento de entender cómo afectan estas actividades, se han desarrollado modelos espaciales del hábitat que se pueden utilizar para aumentar la eficacia de los muestreos de campo, que a su vez mejoren la comprensión sobre los factores que influyen las distribuciones animales (Rachlow y Svancara, 2006).

Con relación a los cambios observados en este estudio en el uso de hábitat, debido a actividades ganaderas como antropogénicas y pérdida del hábitat, en la literatura se ha reportado un modelo para mamíferos endémicos mexicanos (Sánchez-Cordero *et al.*, 2005), tomando como base el Inventario Forestal Nacional (2000) y los reportes hasta 1970 de la distribución de estos endemismos, se usó un algoritmo genético para reglas de predicción (GARP; Stockwell y Peters, 1999; citados por Sánchez-Cordero *et al.*, 2005) para lugares ecológicos de la especie calculados como potencial distribuciones, reportando que la mayoría de los endemismos (61 de 85; 72%) muestran una elevada transformación del hábitat (34.5%) en el nivel nacional. Más del 25% de los endemismos (23 de 85; del 27%) perdió más del 50% del hábitat transformado dentro de su distribución potencial; dos demostraron pérdida regional drástica de más del 90%; otros dos observaron una pérdida de más del 80%. Asimismo se sugieren que la localización geográfica determina los riesgos de extinción y sus altas tasas *per se*, concluyendo que en el estado de Veracruz y en el Eje Neovolcánico Transversal es que ha sufrido las reducciones más drásticas y los endemismos presentes en estos sitios parecen estar en el mayor riesgo de extinción debido a actividades antropogénicas de deforestación (Sánchez-Cordero *et al.*, 2005), lo cual corrobora los resultados de este estudio ya que en aéreas con menor actividad antropogénica es donde se observó un uso de hábitat mayor y a su vez mayor presencia de *Romerolagus diazi*.

Otro caso es el del conejo de Amami (*Pentalagus furnessi*, Stone, 1900; citado por Yamada, 2008) que a la vez del *Romerolagus diazi* es un lagomorfo ancestral monotípico (Yamada *et al.*, 2002), es único encontrado en la zona subtropical y tropical de Japón meridional, es endémico de las Islas Amami-Oshima (712 km²) y de Tokuno-Shima (248 km²) (Corbet 1983; Yamada y Cervantes 2005; Yamada, 2008). En este lagomorfo el impacto de la pérdida del hábitat ha sido absolutamente severo, debido a las de deforestación registradas en las islas, que ha visto reducidas sus poblaciones hasta en un 30% desde los años 80s (Sugimura *et al.*, 2000), aunado a esta tala, también se encuentra la introducción de depredadores como son la mangosta de la India (*Herpestes javanicus*), perros y gatos ferales (Yamada, 2008).

En el caso del pastoreo de bovinos, este es el problema más fuerte en relación a la perturbación como se puede observar en los Cuadros 3 y 4, ya que estos animales defecan en toda el área y en los sitios con presencia de *Romerolagus diazi*, aunque el consumo de las gramíneas amacolladas ocupa un porcentaje muy bajo de perturbación, en este sentido se encuentra reportado que áreas de pastoreo muestran gramíneas de menor tamaño (sin especificar el nombre) y una mayor producción de suelo desnudo, las especies más afectadas son *Muhlenbergia quadridentata*, *Festuca haephaestophila* y *Muhlenbergia macroura* (Obieta y Sarukan, citados por López-Paniagua *et al.*, 1996).

En este sentido para el caso de conejo pigmeo (*Brachylagus idahoensis*) que es totalmente dependiente de la Artemisa (*Artemisa tridentata*), tanto para alimentación como para cobertura (Green y Flinders, 1980; Gabler *et al.*, 2000), se evaluaron presiones de pastoreo en sitios con presencia de este lagomorfo en Columbia Basin, Washington EUA, y se observó que el ganado que pastaba al final del verano y durante el invierno consumió cerca del 50% de la cubierta vegetal y a su vez redujo el aporte nutricional de la *Artemisa tridentata*, y se estimó el consumo del *Brachylagus idahoensis* en menos del 2% para el invierno, mientras que habían consumido hasta un 53% de *Artemisa tridentata* y herbáceas, indicando que estos conejo evitaron los sitios pastoreados por el ganado (Thines *et al.*, 2004) y para el caso del conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus*) sitios de uso agrícola (Calvete *et al.*, 2004).

7. Conclusiones

El uso de hábitat en el *Romerolagus diazi* está influenciado principalmente por la altura y el diámetro de gramíneas por lo que la estimación de su densidad y sus características son importantes para esta especie.

8. Implicaciones de manejo

A pesar de que la NOM-052-ECOL-2001 no permite manejo en sitios donde se encuentren especies tanto de flora y fauna, que se encuentren en algún estado de peligro de extinción, se han realizado prácticas de manejo en el área de estudio, las cuales no han considerado todos los factores y han sido de resultados negativos.

Un aspecto importante para el manejo del hábitat, es que este tiene que ser manera integral y no solo con algunos de los componentes del hábitat, como ocurrió con una de las colonias de *Romerolagus diazi* que causó su desaparición.

Hay reportes exitosos de manejo y restauración del hábitat para lagomorfos en España (Catalán *et al.*, 2008), Portugal (Beja *et al.*, 2007), donde no solo se tomó en cuenta a la reforestación como es el caso del Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas.

Es importante que se identifiquen los requerimientos mínimos de hábitat para el *Romerolagus diazi*, dado que si se quiere conservar o restaurar el hábitat de esta especie, es fundamental conocer las variables para ser evaluadas. Además de que esto requiere de una evaluación cada tres o cuatro años, ya que como se ha reportado en un periodo de diez años se perdieron dos tipos de cobertura.

Con relación a la perturbación, es importante que se conserven sitios donde las actividades antropogénicas no se realicen, se debe tomar como modelo a las reservas de la biosfera con su área núcleo, donde no se permiten actividades, además de promover el pago por servicios ambientales.

9. Literatura citada

- Adler, G. H. 1985. Habitat selection and species interactions: An experimental analysis with small mammal populations. *Oikos*. 45:382-392.
- Allen, A. W. 1985. Habitat suitability index models: Swamp rabbit. U.S. Fish Wildl. Serv. Biol. Rep. 82(10.107). 20 pp.
- Anderson, S. H. 1991. Managing our wildlife resources, 2nd Ed. Prentice Hall. Englewood Cliffs. New Jersey USA. 492 pp.
- Arriaga, L., J. M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez, y E. Loa. 2000a. Sierra Nevada. Regiones Terrestres Prioritarias para la Conservación de México. RTP-107. Comisión Nacional para el Estudio de la Biodiversidad (CONABIO). pp. 1-3.
- Arriaga, L., J. M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez, y E. Loa. 2000b. Ajusco-Chichinautzin. Regiones Terrestres Prioritarias para la Conservación de México. RTP-108. Comisión Nacional para el Estudio de la Biodiversidad (CONABIO). pp. 1-3.

- Beja, P., M. Pais, and L. Palma. 2007. Rabbit *Oryctolagus cuniculus* habitats in Mediterranean scrubland: the role of scrub structure and composition. *Wildl. Biol.* 13: 28-37.
- Bell, D. J., J. Hoth, J., A. Velazquez, F. J. Romero, L. Leon, and M. Aranda. 1985. A survey of the distribution of the volcano rabbit *Romerolagus diazi*. *Dodo J. Jersey Wildl. Preserv. Trust.* 22:42-48.
- Bond, B. T., L. W. Burger Jr., B. D. Leopold, J. C. Jones, and K. D. Godwin. 2002. Habitat use by cottontail rabbits across multiple spatial scales in Mississippi. *J. Wildl. Manage.* 66:1171-1178.
- Bos, D. G., and S. M. Carthew. 2003. The influence of behaviour and season on habitat selection by a small mammal. *Ecography.* 26:810-820.
- Bowers, M. 1988. Seed removal experiments on desert rodents: the microhabitat by moonlight effect. *J. Mammal.* 69:201-204.
- Calvete, C., R. Estrada, E. Angulo, and S. Cabezas-Ruiz. 2004. Habitat factors related to wild rabbit conservation in an agricultural landscape. *Landscape Ecol.* 19:531-542.
- Catalán, I., P. Rodríguez-Hidalgo, and F. S. Tortosa. 2008. Is habitat management an effective tool for wild rabbit. (*Oryctolagus cuniculus*) population reinforcement?. *Eur. J. Wildl. Res.* 54:449–453.
- Cervantes, R. F. A. 1980. Principales características biológicas del conejo de los volcanes *Romerolagus diazi*, Ferrari Perez 1893 (Mammalia: Lagomorpha), Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias (Biología). Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp 137.
- Cervantes, R. F. A., C. Lorenzo C., and R. S. Hoffmann. 1990. *Romerolagus diazi*. *Mammal. Spec.* 360:1-7.
- Cervantes F. A., and Martinez J. 1992. Food habits of the rabbit *Romerolagus diazi* (Leporidae) in central México. *J. Mammal.* 73:830-834.
- Cervantes F. A., y V. J. Martínez. 1996. II. Historia natural del conejo zacatuche o teporingo (*Romerolagus diazi*). *En: Velázquez A., Romero F. J, y López-Paniagua J. (Comp.). Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat. Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica, México D.F. pp. 29-40.*
- Corbet, G. B. 1983. A review of classification in the family Leporidae. *Acta Zool. Fenn.* 174:11–15.

- Díaz, M. 1992. Rodent seed predation in cereal crop areas of Central Spain: effects of physiognomy, food availability, and predation risk. *Ecography*. 15:77-85.
- Díaz, M., and C. L. Alonso. 2003. Wood mouse *Apodemus sylvaticus* winter food supply: density, condition, breeding, and parasites. *Ecology*. 84:2680-2691.
- Fa, J. E., and D. J. Bell. 1990. The volcano rabbit (*Romerolagus diazi*). *En: Rabbits, Hares and Pikas. Status Survey and Conservation, Action Plan*. Compiled and edited by Joseph A. Chapman and John E.C. Flux. IUCN/SSC Lagomorph Specialist Group. UICN Gland. Switzerland. pp. 143-146.
- Fa, J. E., F. L. Romero, and J. Lopez-Paniagua. 1992. Habitat use by parapatric rabbits in a Mexican high-altitude grassland system. *J. Appl. Ecol.* 29:357-370.
- Gabler, K. I., J. W. Laundré, and L. T. Heady. 2000. Predicting the suitability of habitat in southeast Idaho for pygmy rabbits. *J. Wildl. Manage.* 64:759-764.
- Green, J. S., and J. T. Flinders. 1980. *Brachylagus idahoensis*. *Mammal. Spec.* 125:1-4.
- Halama, K. H., and R. D. Dueser. 1994. Of mice and habitats: tests for density-dependent habitat selection. *Oikos*. 69:107-114.
- Hanski, I., H. Henttonen, E. Korpimäki, L. Oksanen, and P. Turchin. 2001. Small-rodent dynamics and predation. *Ecology* 82:1505-1520.
- Heady, L. T., K. I. Gabler., and J. W. Laundré. 2001. Habitat selection by pygmy rabbits in southeast Idaho. Department of Biological Sciences Idaho State University, Pocatello, ID 83209. pp 1-14.
- Himes, J. G., and P. J. Drohan. 2007. Distribution and habitat selection of the pygmy rabbit, *Brachylagus idahoensis*, in Nevada (USA). *J. Arid Environ.* 68:371–382.
- Hoth, J., A. Velazquez, F. J. Romero, L. Leon, M. Aranda, and D. J. Bell. 1987. The volcano rabbit – a shrinking distribution and threatened habitat. *Oryx*. 21:85-91.
- Jedrzejewskai, B., and W. Jedrzejewski. 1990. Antipredatory behaviour of bank voles and prey choice of weasels—enclosure experiments. *Ann. Zool. Fenn.* 27:321-328.
- Kotler, B. P. and J. S. Brown. 1988. Environmental heterogeneity and the coexistence of desert rodents. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 19:281-307.
- Lagos, V. O., L. C. Contreras, P. L. Meserve, J. R. Gutiérrez., and F. M. Jaksic. 1995. Effects of predation risk on space use by small mammals, a field experiment with a Neotropical rodent. *Oikos*. 74:259-264.

- Lima, S. L., and L. M. Dill. 1990. Behavioral decisions made under the risk of predation: a review and prospectus. *Can. J. Zool.* 68:619-640.
- Lima, S. L. 1998. Stress and decision making under the risk of predation: recent developments from behavioral, reproductive, and ecological perspectives. *Adv. Stud. Behav.* 27: 215-290.
- Lin, Y. K., and G. O. Batzli 1995. Predation on voles, An experimental approach. *J. Mammal.* 76:1003-1012.
- Lin, Y. T. and G. O. Batzli. 2001. The influence of habitat quality on dispersal, demography and population dynamics of voles. *Ecol. Monogr.* 71:245-273.
- Lombardi, L., N. Fernández, S. Moreno, and R. Villafuerte. 2003. Habitat-related differences in rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) abundance, distribution, and activity. *J. Mammal.* 84:26–36.
- Lombardi, L., N. Fernandez, and S. Moreno. 2007. Habitat use and spatial behavior in the European rabbit in three Mediterranean environments. *Basic Appl. Ecol.* 8:453-463.
- Longland, W. S., and M. V. Price. 1991. Direct observations of owls and heteronym rodents, can predation risk explain microhabitat use?. *Ecology.* 72:2261-2273.
- López-Paniagua, J., F. J. Romero, y A. Velázquez. 1996. IX. Las actividades humanas y su impacto en hábitat del conejo zacatuche. En: Velázquez A., Romero F. J, y López-Paniagua J. (Comp.). *Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat.* Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica, México D.F. pp. 73-86.
- Lugo, H. J. 1984. Geomorfología del Sur de la Cuenca de México. Instituto de Geografía. UNAM. Serie Varia T. 1 No. 8. México D.F.
- Mappes, T., and H. Ylönen. 1997. Reproductive effort of female bank voles in a risky environment. *Evol. Ecol.* 11:591-598.
- Martin, J. 2002. Evolución de estrategias antidepredatorias en reptiles. En: *Evolución. La base de la biología.* Ed. Soler M. Critica Proyecto Sur de Ediciones L. S. Granda España. 471-478 pp.
- Mazurkiewicz, M. 1991. Population dynamics and demography of the bank vole in different tree stands. *Acta Theriol.* 36:207-227.
- Montgomery, W. I. 1989a. Population regulation in the wood mouse, *Apodemus sylvaticus*. I. Density dependence in the annual cycle of abundance. *J. Anim. Ecol.* 58:465-475.

- Montgomery, W. I. 1989b. Population regulation in the wood mouse, *Apodemus sylvaticus*. II. Density dependence in spatial distribution and reproduction. *J. Anim. Ecol.* 58:477-494.
- Morris, D. W. 1989. Habitat-dependent estimates of competitive interaction. *Oikos*. 55: 111-120.
- Morrison, M. L., B. G. Marcot, and R. W. Mannan. 1992. Wildlife-habitat relationships. The University of Wisconsin Press. USA.
- NOM-059-ECOL-2001. Norma Oficial Mexicana-059-ECOL-2001. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Protección Ambiental, Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestres. Categorías de Riesgo y Especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de Especies en Riesgo. Diario Oficial de la Federación. Segunda Sección. Publicada miércoles 6 de marzo de 2002.
- Monzón, A., P. Fernandes, and N. Rodrigues. 2004. Vegetation structure descriptors regulating the presence of wild rabbit in the National Park of Peneda-Gerês, Portugal. *Eur. J. Wildl. Res.* 50:1–6.
- Palomares, F. 2003. The negative impact of heavy rains of the abundance of a Mediterranean population of the European rabbits. *Mamm. Biol.* 68:2234-234.
- Rachlow, J. L., and L. K. Svancara. 2006. prioritizing habitat for surveys of an uncommon mammal: a modeling approach applied to pygmy rabbits. *J. Mammal.* 87:827-833.
- Rangel, C. R. 1996. Descripción y uso de hábitat de *Romerolagus diazi*: Efecto del fuego sobre el zacatonal alpino del volcán Iztaccihuatl. México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias (Biología). México D.F.
- Rödel, H. G. 2005. Winter feeding behaviour of European rabbits in a temperate zone habitat. *J. Mammal.* 70:300-306.
- Rueda, M., S. Rebollo, L. Gálvez B. 2008a. Age and season determine European rabbit habitat use in Mediterranean ecosystems. *Acta Oecol.* 34:266–273.
- Rueda, M., S. Rebollo, L. Gálvez B. 2008b. Habitat use by large and small herbivores in a fluctuating Mediterranean ecosystem: Implications of seasonal changes. *J. Arid Environ.* 72:1698:1708.
- Rzedowski, J. 1988. Vegetación de México. Ed. Limusa. México. 432 pp.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Bot. Mex.* 14:3-21.

- Rzedowski, J. 1993. Diversity and origins of the phanerogamic flora of Mexico. *En: Ramamoorthy, T. P., Bye, R., Lot, A., and Fa, J. (Eds.). Biological Diversity of México: origins and distribution.* Oxford University Press. pp 129-144.
- Rzedowski, J., y G. C. Rzedowski. 1990. Sinopsis numérica de la flora fanerogámica del Valle de México. *Acta Bot. Méx.* 8:15-30.
- Sánchez-Cordero, V., P. Illoldi-Rangel, M. Linaje, S. Sarkar, and A. Townsend-Peterson. 2005. Deforestation and extant distributions of Mexican endemic mammals. *Biol. Conser.* 126:465–473.
- Sánchez-González, A. y L. López-Mata. 2003. Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Ann. Inst. Biol. UNAM. Serie Botánica.* 74:47-71.
- SAS. 1988. SAS/STAT® User's Guide (Release 6.03). SAS Inst. Inc. Cary, N.C. USA.
- Seamon, J. O., and G. H. Adler. 1996. Population performance of generalist and specialist rodents along habitat gradients. *Can. J. Zool.* 74:1130-1139.
- Sayler, R. D., L. A. Shipley, and R. Westra. 2001. Behavior, Dispersal and survival of captive-raised Idaho pygmy rabbits (*Brachylagus idahoensis*) released onto the INEEL in Idaho. Disponible en: <http://www.stoller-eser.com/NERP/pygmy.htm>. Consultado el 3 de marzo del 2008.
- Sih, A. 1987. Predators and prey lifestyles: an evolutionary and ecological overview. *En W.C. Kerfoot y A. Sih (eds.). Predation: direct and indirect impacts on aquatic communities.* University Press of New England, Hanover. 203-224 pp.
- Sugimura, K., S. Sato, F. Yamada, S. Abe, H. Hirakawa, and Y. Handa. 2000. Distribution and abundance of the Amami rabbit *Pentalagus furnessi* in the Amami and Tokuno Islands, Japan. *Oryx.* 34:198–206.
- Velázquez, M. A. 1990. Fragmentation of the isolated habitat of the Mexican endangered volcano rabbit. *Trans 19th IUGB Congress, Trondheim 1986.* pp 510-512.
- Velázquez, A. 1992. Landscape ecological vegetation map of the volcanoes Tlaloc and Pelado, Mexico. *ITC J.* 3:213-227.
- Velázquez, A. 1993. Man-made and ecological habitat fragmentation: study case of the volcano rabbit *Romerolagus diazi*. *Inter. J. Mammal. Z. Saugetierkunde,* 58:54-61.

- Velázquez, A., and A. M. Cleef. 1993. The plant communities of the volcanoes “Tlaloc” and “Pelado”, Mexico. *Phytocoenologia*. 22:145-191.
- Velázquez, A., F. A. Cervantes, and C. Galindo-Leal. 1993. The volcano rabbit *Romerolagus diazi*, a peculiar lagomorphs. *Lutra*. 36:62-70.
- Velázquez, A. 1994. Multivariate analysis of the vegetation of the volcanoes Tlaloc and Pelado, Mexico. *J. Veget. Sci.* 5:263-270.
- Velázquez, A., and G. H. Heil G. W. 1996. Habitat suitability study for the conservation of the volcano rabbit (*Romerolagus diazi*). *J. Appl. Ecol.* 33:543-554.
- Velázquez, A., F. J. Romero, y L. León. 1996. VI. Fragmentación del hábitat del conejo zacatuche. En: Velázquez A., Romero F. J, y López-Paniagua J. (Comp.). *Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat*. Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica, México D.F. pp. 73-86.
- Velázquez, A., F. J. Romero, H. Rangel-Cordero, and G. W. Heil. 2001. Effects of landscape changes on mammalian assemblages at Izta-Popo Volcanoes, Mexico. *Biodivers. Conser.* 10:1059–1075.
- Velázquez, A., B. Bocco, F. J. Romero, and V. A. Pérez. 2003. A landscape perspective on biodiversity conservation: The case of central Mexico. *Mount. Res. Develop.* 23:240-246.
- Wirsing, A. J., T. D. Steury, and D. L. Murray. 2002. A demographic analysis of a southern snowshoe hare population in a fragmented habitat: evaluating the refugium model. *Can. J. Zool.* 80: 169–177.
- Wolff, J. O. 1997. Population regulation in mammals: an evolutionary perspective. *J. Anim. Ecol.* 66:1-13.
- Yahner, R. H. 1982. Microhabitat use by small mammals in farmstead shelterbelts. *J. Mammal.* 63:440-445.
- Yamada, F., M. Takaki, and H. Suzuky. 2002. Molecular phylogeny of japanese leporidae, the Amami rabbit *Pentalagus furnessi*, the japanese hare *Lepus brachyurus*, and the mountain hare *Lepus timidus*, inferred from mitochondrial DNA sequences. *Genes Genet. Syst.* 77:107-116.
- Yamada, F., and F. A. Cervantes. 2005. *Pentalagus furnessi*. *Mammal. Spec.* 782:1–5.
- Yamada, F. 2008. A Review of the Biology and Conservation of the Amami Rabbit (*Pentalagus furnessi*). In: *Lagomorph Biology: Evolution, Ecology, and Conservation*. P. C. Alves, N. Ferrand, and K. Hackländer (Eds.). © Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp. 369-377.

Ydenberg, R. C., and L. M. Dill. 1986. The economics of fleeing from predators. *Adv. Stud. Behav.* 16: 229-249.

Capítulo IV

Composición de la dieta y estimación de capacidad de la carga del *Romerolagus diazi*

1. Resumen

Se evaluaron los hábitos alimenticios del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*), así como la calidad nutricional y la capacidad de carga de su hábitat, durante invierno del 2003-2004 al invierno del 2004-2005 en cuatro sitios (Altzomoni, El Arco, El Papayo, y El Pinar) del Parque Nacional Izta-Popo-Zoquiapan, del otoño de 2003 al invierno de 2005. La dieta se determinó por análisis microhistológico de heces; la calidad nutricional de hábitat (materia seca, proteína cruda y fibra detergente neutro) mediante muestras cada tres meses de plantas probablemente consumidas por el *Romerolagus diazi*; y la capacidad de carga nutricional determinando los requerimientos de materia seca y aporte nutricional de los sitios con un coeficiente de utilización del 50%. Las principales plantas consumidas fueron *Muhlenbergia macroura* en Altzomoni, y *Festuca toluensis* en El Arco, El Papayo, y El Pinar. La mayor producción de biomasa fue en Altzomoni con 20.7 Ton/ha en invierno 2003-2004 y la menor de 6.5 Ton/ha en invierno 2004-2005. La mayor concentración de proteína cruda se encontró en El Papayo (5.5%) y la menor en Altzomoni (4.8%). La mayor capacidad de carga nutricional fue para Altzomoni (719.6 individuos/ha), mientras que la más baja fue en El Papayo (694.4 individuos/ha). Se concluye que el hábitat con mejores características para la especie se encuentra en Altzomoni, sin embargo, los sitios que necesitan una mayor conservación y mejoramiento del hábitat son El Arco y El Pinar, dado que la densidad poblacional es muy cerca de su capacidad nutricional de carga.

Palabras clave: *Romerolagus diazi*, hábitos alimenticios, calidad del hábitat, capacidad nutricional de carga, análisis microhistológico.

2. Abstract

The food habits of the volcano rabbit (*Romerolagus diazi*), as well as the nutritional quality and carrying capacity of its habitat were assessed at four sites (Altzomoni, El Arco, El Papayo, and El Pinar) within the National Park Izta-Popo-Zoquiapan, from autumn 2003 to winter 2005. The diet was determined by micro histological analysis of faeces, the nutritional quality of habitat (dry matter, crude protein and neutral detergent fiber) by samples of plants from rabbit colonies, and the carrying capacity by determining the nutritional requirements of dry matter, and the nutritional supply of sites, using a coefficient of use of 50%. The main food items consumed were *Muhlenbergia macroura* (Altzomoni) and *Festuca tolucensis* (El Arco, El Papayo, and El Pinar). The highest biomass production was at Altzomoni with 20.69 tons/ha in winter 2003-2004 and the lowest with 6.48 tons/ha in winter 2004-2005. The highest concentration of crude protein was found at El Papayo (5.4%) and the lowest at Altzomoni (4.8%). The best nutritional carrying capacity was for Altzomoni (719.6 individuals/ha), while the worst was at El Papayo (694.4 individuals/ha). In conclusion, the best habitat for the species seem to be in Altzomoni, however, sites that require greater conservation and habitat management are El Arco and El Pinar, given that population density is very close to its nutritional carrying capacity .

Key words: *Romerolagus diazi*, food habits, habitat quality, nutritional carrying capacity, microhistological analysis.

3. Introducción

3.1. Composición de la dieta

Para determinar los hábitos alimenticios en herbívoros, se han desarrollado técnicas directas y los que emplean técnicas indirectas; estos tipos de estudios incluyen desde la observación de los alimentos consumidos, la utilización de vegetación, el muestreo por medio de cánulas, hasta el análisis del contenido estomacal y de las excretas, sin embargo, cada uno de estos procedimientos tiene limitaciones importantes (Holechek *et al.*, 1982; McInnis *et al.*, 1983). Así que los hábitos alimentarios para una especie son determinados en particular por la (interacción de hábitat son potencialmente

diferente de todas las demás especies) interacción de hábitat (Nudds, 1980). Por lo tanto, si solo se es el interés en la descripción de los hábitos alimentarios, existe un número infinito de estudios. Por lo tanto, se reconocer que, si bien datos sobre hábitos alimentarios son importantes, listado de hábitos alimentarios en sí mismos son sólo una fachada superficial de entendimiento nutricional. El conocimiento y comprensión de las interacciones del entorno del animal al cual se determinaran los hábitos de alimentación, deben prevalecer principalmente sobre estos mismos hábitos alimenticios (Robbins, 1992).

La observación directa requiere de un tiempo mínimo y un buen equipo, pero carece de exactitud y precisión, particularmente si se están tratando de estimar las dietas de animales silvestres de amplia distribución y con un ámbito hogareño muy amplio. Para el caso de animales silvestres, el uso de cánulas sería exacto pero difícil de usar, además del alto costo y de que requiere un tiempo considerable para adaptación y muestreo. Otra forma para colectar muestras es por medio del análisis de contenido estomacal, sin embargo, éste normalmente involucra un manejo excesivo ya que se necesita realizar una inmovilización química o, en su defecto, el sacrificio del animal. Por consiguiente, generalmente se restringe a los animales silvestres con poblaciones grandes (Holechek *et al.*, 1982); en el caso de los lagomorfos, esta técnica ha sido usada por White *et al.* (1982a) en el conejo pigmeo (*Bruchlugus iduhoensis*).

Una técnica indirecta y para determinar los componentes de la dieta de herbívoros silvestres, es el análisis de excretas, dado que permite evaluar la composición botánica de la dieta y ha sido una herramienta muy útil para el caso de de herbívoros silvestres. Este procedimiento da precisión pero la exactitud es deficiente debido a la digestibilidad diferencial entre especies y partes de la planta. Un complemento de este análisis de excretas es la técnica de análisis microhistológico, que ha probado ser un buen mecanismo para la estimación de la composición botánica del forraje consumido (Holechek *et al.*, 1982; Bartolomé *et al.*, 1995), sin embargo, los resultados varían en función de la digestibilidad, especie de herbívoro y estado de lignificación de las plantas consumidas, entre otros (McInnis *et al.*, 1983; Mukhtar y Hansen, 1983). Para el caso de hábitos alimenticios en lagomorfos, el primer antecedente de la aplicación del análisis microhistológico fue hecho por Flinders y

Hansen (1975), quienes determinaron el uso de diferentes praderas por la liebre cola blanca (*Lepus townsendii*), la liebre cola negra (*Lepus californicus*) y el conejo de desierto (*Sylvilagus audubonii*), en Colorado y Wyoming en los EUA; otros ejemplos incluyen la estimación de hábitos alimenticios de la liebre europea (*Lepus europaeus*) en parques nacionales de Hungría (Katona y Altbäcker, 2002), de la liebre de las nieves (*Lepus americanus*) (Sinclair *et al.*, 1988) en la región del Yukon en Canadá y para el conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*) en México (Martínez 1987; Rangel 1996). Sin embargo, los reportes más representativos del uso del análisis microhistológico son los trabajos en *Lepus californicus* (Hayden, 1966), *Sylvilagus floridanus* (Snyder *et al.*, 1976; Peitz *et al.*, 1997), *Lepus americanus* (Wolff, 1978; Sinclair *et al.*, 1988; Krebs *et al.*, 1995), *Lepus europeus* (Katona y Altbäcker, 2002), *Oryctolagus cuniculus* (Cacho *et al.*, 2003; Bonino, 2006; Bonino y Borreli, 2006).

A su vez un el conejo pigmeo (*Brachylagus idahoensis*) el cual tiene características de alimentación restringida además similitudes fenotípicas al *Romerolagus diazi*, pero este primero más ampliamente estudiado dado que la principal fuente de alimentación es la artemisa (particularmente la *Artemisia tridentata*), que también la usa como cobertura de protección y escape (Green y Flinders, 1980ab; White *et al.*, 1982a; Katzner y Parker, 1997; Shipley *et al.*, 2006). Por su parte, el *Romerolagus diazi* usa para las funciones de cobertura y alimentación principalmente a las gramíneas amacolladas, entre las que destacan la *Muhlenbergia sp.* y *Festuca toluensis* (Martínez, 1987; Cervantes y Martínez, 1996; Rangel, 1996).

El *Romerolagus diazi* se alimentan de gramíneas amacolladas como: *Festuca amplissima*, *Eryngium rosei*, *Muhlenbergia sp.* y *Stipa ichu* (Cervantes, 1980; Martínez, 1987, Cervantes y Martínez, 1992; Rangel, 1996). Rojas (1951; citado por Cervantes y Martínez, 1996), reporta que además de los pastos, consume hierbas como *Alchemilla sp.* y *Donnellsmithia juncea*.

Cervantes (1980) al estudiar un predio (1,225 m²) ampliamente utilizado por el conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*), cubierto de gramíneas amacolladas (*Muhlenbergia macroura* y *Stipa ichu*), determinó que este lagomorfo empleaba para su alimentación a estas gramíneas, consumiendo aproximadamente el 50% del total de los zacatones presentes en el área. Asimismo, se reporta que *Romerolagus diazi* utilizó un

macollo de *Muhlenbergia macroura* por cada 2 m² y sólo uno de *Stipa ichu* por cada 3 m². Por lo tanto, se confirma la importancia de las gramíneas amacolladas en la alimentación del *Romerolagus diazi* (Cervantes, 1980), ya sea para consumo o cobertura.

3.2. Capacidad de carga nutricional

La capacidad de carga se refiere al número de animales que un área determinada de hábitat puede sostener durante un periodo de tiempo o estación determinada, sin que los alimentos y sus nutrientes presentes se vean mermados, de tal manera que el hábitat sufra deterioro (DeYoung *et al.*, 2000). Predecir cuantos animales se pueden alimentar en una área determinada constituye la capacidad de carga nutricional (CCN); algunas veces conocida como índice de agostadero o simplemente capacidad de carga.

Estimar la capacidad de carga sobre una base alimenticia es parte de la evaluación del hábitat y sirve para comparar la capacidad entre hábitats (Grant, 1978; Hobbs *et al.*, 1982). El término capacidad de carga constituye una herramienta para el manejo de cérvidos sobre todo en épocas invernales o en otros casos en época de estiaje, específicamente en sequías, esto debido a la baja disponibilidad del forraje en estas épocas (Hobbs *et al.*, 1982; Potvin y Huot 1983). Recientemente en México este concepto de capacidad de carga sea ha aplicado para otras especies como: iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) (Mendoza *et al.*, 2004) y la codorniz Moctezuma (*Cyrtonix montezumae*) (Hernández *et al.*, 2003, 2005).

Para estimar la capacidad de carga nutricional, es necesario definir y estimar esta misma a corto plazo, la cual ha sido definida por Massé *et al.* (2001) como el número máximo de individuos que un área puede mantener por un periodo específico de tiempo, asumiendo que se mantienen las condiciones actuales del hábitat y se puede calcular estimando el requerimiento de los animales en relación con la disponibilidad de nutrientes o de alimento para la población (Hobbs y Swift, 1985; McCall *et al.*, 1997; Massé *et al.*, 2001).

La capacidad de carga nutricional en herbívoros es ve afectada por la disponibilidad en el tiempo (estacionalidad) del forraje y el contenido de nutrientes;

éstos, los cuales dependen de la precipitación pluvial, afectando a las poblaciones silvestres (Wehausen *et al.*, 1987).

Un ejemplo de modelo de predicción de la capacidad de carga es el que se desarrolló en el oeste de Texas, EUA, para el traslado de borrego cimarrón (*Ovis canadensis*). Estos modelos requieren datos sobre la producción de biomasa y los nutrimentos presentes en la vegetación (nitrógeno y energía). De hecho, ya existen reportes sobre estimaciones de capacidad de carga basadas en la concentración de nitrógeno (Hobbs *et al.*, 1982, 1983; Hobbs y Swift, 1985), digestibilidad de la materia seca y estimaciones de energía digestible (Hanley y Rogers 1989).

Este estudio planteo llevar a cabo una evaluación nutricional de los hábitats que usa el *Romerolagus diazi* considerando producción de biomasa, los aportes nutricionales y la capacidad de carga nutricional de las áreas bajo estudio.

Los objetivos del presente estudio fueron a) caracterizar los hábitos alimenticios del *Romerolagus diazi* bajo diferentes cobertura vegetal; b) identificar las plantas presentes y consumidas, y estimar su biomasa; c) estimar el aporte nutricional del hábitat así como la capacidad de carga nutricional de cada uno de los sitios estudiados con presencia de *Romerolagus diazi*.

4. Materiales y métodos

4.1. Ubicación

En el Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas, durante el otoño (septiembre) del 2003 al invierno del 2004-2005 (enero), se identificaron y geoposicionaron (GPS, Garmin®, Legend, *etrx*) sitios con presencia de conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*).

Los sitios del área de estudio fueron: Altzomoni, El Arco, El Pinar, y El Papayo; cada uno de ellos cuenta con distintas asociaciones vegetales.

4.2. Metodología

Cada 15 días, se llevaron a cabo visitas a los sitios seleccionados, cada visita tuvo una duración de dos a tres días, esto con el objetivo de confirmar visualmente la presencia o ausencia de rastros frescos (excretas) de *Romerolagus diazi*; adicionalmente, se

colectaron muestras de la vegetación a la mitad de cada estación del año, invierno (febrero), primavera (mayo), verano (agosto), y otoño (noviembre).

Las excretas se colectaron cada 15 días, obteniendo las excretas acumuladas durante dos semanas, con excepción de diez excretas que se dejaron en las letrinas. Los grupos de excretas colectadas fueron almacenadas hasta su posterior análisis en el laboratorio.

4.2.1. Estimación de biomasa

Para estimar la producción de biomasa (White, 1978; Bonham, 1989; Bonser y Reader, 1995; Paton *et al.*, 1999) se consideró, dentro de cada cuadrante de 5 m², un subcuadrante de 1 m² mediante el cual se colectaron muestras de la vegetación presente. Las gramíneas se cortaron desde la base y solo dejando el macollo del zacatón, el resto de las plantas presentes el corte se realizó a ras de suelo (Velázquez, 1994). El aporte nutricional de la dieta, se determinó con las plantas presentes colectadas para determinar la biomasa por estación.

La biomasa se calculó con base a densidad de macollos de zacatones/m², diámetro del macollo y altura de los zacatones, peso en base húmeda y contenido de materia seca por m². Para calcular la biomasa se modificó la ecuación propuesta por Moszynska (1970, citado por Bonham, 1989), mediante la siguiente fórmula.

$$P = G_1 D$$

Donde: P = biomasa verde; G₁ = peso de la especie por m²; D = Densidad de la especie.

Las muestras vegetales fueron pesadas en el momento de su corte para conocer el peso fresco, para después de su deshidratación estimar el contenido de materia seca (MS), asimismo, las plantas fueron fotografiadas y etiquetadas para su posterior identificación taxonómica en el Herbario de la Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Xochimilco.

4.2.2. Caracterización de hábitos alimenticios

La determinación de los hábitos alimenticios del *Romerolagus diazi* se realizó por medio de análisis microhistológico de las excretas, comparando la composición taxonómica del material vegetal recuperado de las deposiciones con la composición taxonómica de la vegetación presente en los sitios de estudio, así como determinando la frecuencia y porcentaje de aparición de cada planta.

Las plantas fueron colectadas colocando cuatro cuadrantes (5 m²), por estación del año, en el perímetro de los polígonos donde se encontraba la colonia, esto con la razón de establecer el patrón o estándar de las plantas colectadas y que pudieran aparecer al realizar las laminillas para el análisis. La técnica de microhistología usada fue modificada de la propuesta por González y Pérez (en prensa, UACH); este análisis y el químico proximal se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal del Programa de Ganadería en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados y en el Laboratorio de Ensayos Metabólicos de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.

En relación a la colecta de datos para el aporte nutricional de la dieta, se usaron las muestras obtenidas para la estimación de la biomasa para cada estación del año. Para el caso del aporte nutricional del hábitat las variables evaluadas fueron materia seca (MS), proteína cruda (PC) (AOAC, 1990), y fibra detergente neutro (FDN) (Van Soest *et al.*, 1991).

4.2.3. Capacidad de carga nutricional

Se estimó la capacidad de carga nutricional (CCN) en cada una de las cinco estaciones evaluadas (Invierno 2003-2004 a Invierno 2004-2005) en cada sitio. Las variables consideradas fueron la disponibilidad de biomasa y el contenido de materia seca (MS). Para la estimación se modificó la ecuación propuesta por Massé *et al.* (2001), tomando como el consumo teórico lo reportado por Sánchez (2009) mediante la siguiente relación:

$$CCN = \frac{PMS \times AH}{CT} \times CU$$

Donde: PMS = Producción de MS en m^2 ; AH = Área del hábitat en ha; CT = Consumo teórico, g/d MS; CU = Coeficiente de Utilización, como el porcentaje de la vegetación presente, que usa el animal para alimentación.

Para la aplicación de la ecuación se usó el dato reportado por Sánchez (2009) para consumo teórico de materia seca (CMS, g/d) en teporingos en cautiverio, siendo este valor de 42 g MS/d. A su vez se comparó el coeficiente de uso del 35% propuesto por Stuth y Sheffield (2001; citados por Mendoza *et al.*, 2004) y el 50% por Cervantes (1980) y Cervantes y Martínez (1992, 1996).

Tanto las muestras de excretas como las de vegetación fueron colocadas en una estufa para su deshidratación; posteriormente, se llevó a cabo el análisis microhistológico de las excretas para identificar los componentes vegetales presentes en éstas. Por otra parte, a la vegetación se le realizó el análisis de materia seca (MS), proteína (PC), fibra detergente ácido (FDA) y fibra detergente neutra (FDN), de acuerdo a los procedimientos indicados por la AOAC (1990) y Van Soest *et al.* (1991), respectivamente.

4.3. Análisis estadístico

Para la composición botánica del hábitat y para la diversidad vegetal, no se les realizó análisis estadísticos. Mientras que para el análisis de datos se utilizó del procedimiento GLM del SAS (2001). Se corrieron análisis considerando las variables; densidad de gramíneas, peso de zacatones y biomasa, producción de materia seca, proteína cruda y fibra detergente neutro, el modelo consideró además de la variable sitio la variable estación del año. En todos los casos se usó la prueba de comparación de medias de Tukey ($P < 0.05$), además de análisis de homogeneidad de varianza y normalidad para estadística paramétrica.

5. Resultados

5.1. Composición vegetal del hábitat

Las plantas presentes en cada uno de los sitios muestreados se puede observar en el Cuadro 1; la diversidad vegetal se compone de quince especies, correspondientes a

ocho familias: Cuatro a la familia *Poaceae* (*Po*), tres a la *Pinaceae* (*Pi*), dos a la familia *Fabaceae* (*Fa*), así como solo una a cada familia *Scrophulariaceae* (*Sc*), *Rosaceae* (*Ro*), *Apiaceae* (*Ap*), *Geraniaceae* (*Ge*), *Asteraceae* (*As*), y *Dicotyledonea* (*Di*).

Cuadro 1. Diversidad vegetal presente en los sitios estudiados con presencia de rastros de *Romerolagus diazi*.

ESPECIE	FAMILIA	SITIO			
		Altzomoni	El Arco	El Pinar	El Papayo
<i>Penstemon gentianoides</i>	<i>Sc</i>	X			
<i>Arundinella deppeana</i>	<i>Po</i>	X			
<i>Dicotyledona sp.</i>	<i>Di</i>	X			
<i>Acaena sp.</i>	<i>Ro</i>	X			
<i>Lupinus sp.</i>	<i>Fa</i>	X	X	X	X
<i>Eryngium sp.</i>	<i>Ap</i>	X	X	X	X
<i>Gnaphalium sp.</i>	<i>As</i>	X			
<i>Muhlenbergia macroura</i>	<i>Po</i>	X			
<i>Muhlenbergia emersleyi</i>	<i>Po</i>	X			
<i>Festuca toluensis</i>	<i>Po</i>		X	X	X
<i>Geranium bellum</i>	<i>Ge</i>	X	X		
<i>Trifolium sp.</i>	<i>Fa</i>	X	X	X	X
<i>Abies religiosa</i> ¹	<i>Pi</i>				X
<i>Pinus hartwegii</i> ¹	<i>Pi</i>	X*	X	X	
<i>Pinus monctezumae</i> ¹	<i>Pi</i>	X			X

¹ Observación e identificación directa *in situ*.

* Los ejemplares que se ubican en la zona de Altzomoni, son los de menor tamaño de la especie, considera como achaparrada.

5.2. Hábitos alimenticios

Los hábitos alimenticios del *Romerolagus diazi* se observan en el Cuadro 2, la mayor frecuencia de aparición, en todos los sitios, correspondió a gramíneas amacolladas,

tanto para Altzomoni (*Muhlenbergia macroura*, 94.8) como para El Arco, El Pinar y El Papayo (*Festuca tolucensis*, 90.3, 93.6, y 92.5, respectivamente).

De los sitios estudiados, el que presentó un menor porcentaje (40.56%) de aparición de rastros gramíneas amacolladas en las excretas fue Altzomoni (aunque, por otra parte, contuvo una mayor diversidad vegetal); le siguieron El Arco (46.45%), El Pinar (61.41%) y El Papayo (59.63%).

Cuadro 2. Frecuencia (FA) y Porcentaje de Aparición (PA) de restos de vegetación (análisis microhistológico) en excretas de *Romerolagus diazi*.

ESPECIE	SITIO							
	Altzomoni		El Arco		El Pinar		El Papayo	
	FA	PA	FA	PA	FA	PA	FA	PA
<i>Muhlenbergia macroura</i>	94.8	40.56	---	---	---	---	---	---
<i>Lupinus sp.</i>	25.1	10.74	45.6	23.45	28.9	18.96	30.1	19.40
<i>Penstemon gentianoides</i>	23.5	10.05	---	---	---	---	---	---
<i>Geranium bellum</i>	17.9	7.66	27.3	14.06	---	---	---	---
<i>Muhlenbergia emersleyi</i>	16.3	6.97	---	---	---	---	---	---
<i>Eryngium sp.</i>	15.3	6.54	23.7	12.17	20.1	13.18	27.3	17.60
<i>Dicotyledona sp.</i>	12.8	5.47	---	---	---	---	---	---
<i>Gnaphalium sp.</i>	8.3	2.26	---	---	---	---	---	---
<i>Trifolium sp</i>	---	---	---	---	---	---	---	---
<i>Arundinella deppeana</i>	7.2	3.08	---	---	---	---	---	---
<i>Acaena sp</i>	0.2	0.08	---	---	---	---	---	---
<i>Festuca tolucensis</i>	---	---	90.3	46.45	93.6	61.41	92.5	59.63
<i>Abies religiosa</i>	---	---	---	---	---	---	---	---
<i>Pinus hartwegii</i>	---	---	---	---	---	---	---	---
<i>Pinus monctezumae</i>	---	---	---	---	---	---	---	---
Material no identificado	12.3	6.59	17.5	3.85	19.8	6.45	15.2	3.37

5.3. Estimación de Biomasa

En el Cuadro 3, presenta para todas las variables evaluadas existió diferencia significativa ($P < 0.05$) entre Altzomoni con el resto de los sitios, ya que en Altzomoni se observaron los valores mayores para densidad de gramíneas, altura del zacatón, diámetro de zacatón, peso del zacatón y producción de biomasa ($2.63 \pm 0.8 \text{ m}^2$, $105.3 \pm 4.6 \text{ cm}$, $126.0 \pm 4.4 \text{ cm}$, $2.39 \pm 0.13 \text{ kg/m}^2$, y $2.18 \pm 0.12 \text{ kg/m}^2$, respectivamente).

Asimismo, se determinó que el mayor porcentaje de peso fresco de la plantas correspondió, de manera global, a las gramíneas amacolladas (*Muhlenbergia macroura* y *Festuca toluensis*, principalmente) con un 95.42%, mientras que el resto del porcentaje aparecieron en un 4.2%. Asimismo, comparando los sitios estudiados Altzomoni obtuvo el menor porcentaje (92.9%), mientras que para El Arco, El Pinar y El Papayo los porcentajes fueron muy similares entre sí (96.4%, 95.9%, y 96.5%, respectivamente).

Cuadro 3. Densidad ($\mu \pm \text{DE}$) por m^2 de gramíneas, altura media (cm), diámetro (cm), peso del zacatones (BH, kg/m^2) y Biomasa (MS, kg/m^2) de gramíneas amacolladas.

	SITIO			
	Altzomoni	El Arco	El Pinar	El Papayo
Densidad	2.63 ± 0.8^a	1.64 ± 0.5^b	1.94 ± 0.0^b	1.28 ± 0.0^b
Altura	105.3 ± 4.6^a	79.7 ± 3.2^b	81.3 ± 3.1^b	71.1 ± 2.0^b
Diámetro	126.0 ± 4.4^a	79.7 ± 3.2^b	90.4 ± 3.8^b	84.5 ± 2.7^b
Peso	2.39 ± 0.13^a	1.66 ± 0.14^b	1.79 ± 0.09^b	1.30 ± 0.32^b
Biomasa	2.18 ± 0.12^a	1.51 ± 0.13^b	1.63 ± 0.08^b	1.18 ± 0.29^b

^{ab} Literales distintas en la fila son diferentes ($P < 0.05$).

Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) por época del año (Cuadro 4) para la densidad de gramíneas, pues los valores más altos se observaron durante otoño del 2004 e invierno del 2004-2005 (1.97 ± 0.6 y 1.94 ± 0.5 , respectivamente), y esto aunque no se evaluó, puede ser atribuible a que en el año del 2004 la época de

lluvias inicio en abril y culmino a mediados de diciembre, siendo este incremento en la densidad influencia de la precipitación pluvial presente durante este periodo.

Para la variable de altura media de las gramíneas amacolladas, esta fue estadísticamente diferente ($P < 0.05$) para primavera y verano del 2004 (82.4 ± 11.8 cm y 81.8 ± 14.4 cm, respectivamente) en relación con la del resto de las estaciones evaluadas (invierno 2003-2004; otoño 2004; e invierno 2004-2005). Esta misma tendencia en el comportamiento se observó en relación con el peso de las gramíneas, ya que en estas estaciones que la altura media fue mayor también se mostraban un mayor peso (Cuadro 4), sin embargo, al analizar los diámetros de los macollos de las gramíneas, éstos no mostraron diferencias ($P > 0.10$), entre ninguna de las estaciones del año, lo que pudiera indicar que cuando la planta establece su macollo, este ya no amplia su diámetro, pero sí por efectos ambientales (precipitación pluvial, principalmente) puede aumentar o disminuir la altura media de sus hojas.

Cuadro 4. Densidad ($\mu \pm DE$) de gramíneas por época del año, altura media (cm), diámetro (cm), peso del zacatón en base húmeda (BH, kg/m^2) y Biomasa (MS, kg/m^2) de las gramíneas amacolladas.

	EPOCA DEL AÑO				
	03-04 I	04P	04 V	04 O	04-05 I
Densidad	1.91 ± 0.5^a	1.85 ± 0.4^b	1.91 ± 0.5^a	1.91 ± 0.6^c	1.80 ± 0.6^c
Altura	87.3 ± 18.9^a	82.4 ± 11.8^b	81.8 ± 14.4^b	85.1 ± 13.3^a	85.1 ± 13.4^a
Diámetro	99.8 ± 17.0	96.4 ± 14.1	98.6 ± 22.5	98.2 ± 20.9	97.7 ± 17.8
Peso	1.88 ± 0.4^a	1.75 ± 0.2^b	1.76 ± 0.4^b	1.83 ± 0.3^c	1.71 ± 0.3^c
Biomasa	1.71 ± 0.4^a	1.60 ± 0.2^b	1.61 ± 0.3^b	1.66 ± 0.3^a	1.56 ± 0.2^a

^{abc} Literales distintas en la fila son diferentes ($P < 0.05$).

5.4. Aporte nutricional del hábitat

Tomando los valores porcentuales de los componentes vegetales del hábitat, se encontró que los sitios tienen aportes nutricionales similares en relación con el porcentaje de MS (Cuadro 5); el valor mínimo se produjo en Altzomoni (91.27%), mientras que el mayor se ubicó en El Arco (91.42%).

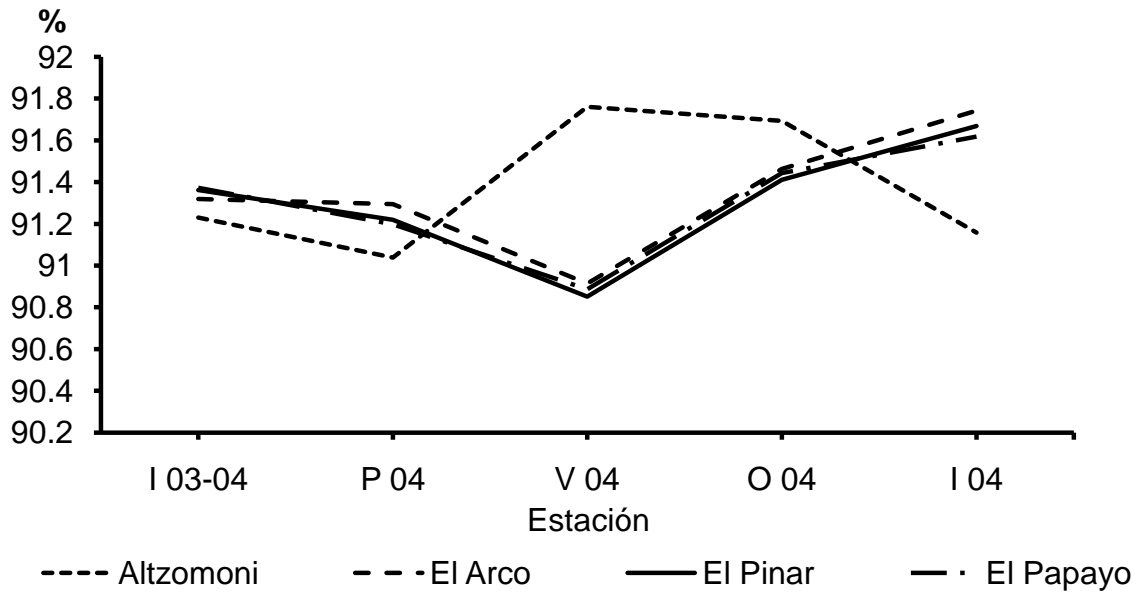
El sitio en donde la vegetación mostró una menor aportación porcentual de proteína cruda (PC) fue en Altzomoni, con sólo 4.77%, mientras que el mayor aporte se observó en El Papayo, con 5.46% (Cuadro 5). Al analizar los porcentajes de FDN, Altzomoni mostró la misma tendencia, ya que fue el sitio donde el porcentaje fue menor (70.29%) en comparación con el resto de las localidades muestreadas (72.05, 71.66 y 70.35%; respectivamente para El Arco, El Pinar, y El Papayo).

Cuadro 5. Porcentajes de aportes nutricionales del hábitat, con relación a Materia Seca (MS), Proteína Cruda (PC), y Fibra Detergente Neutro (FDN) en los sitios estudiados.

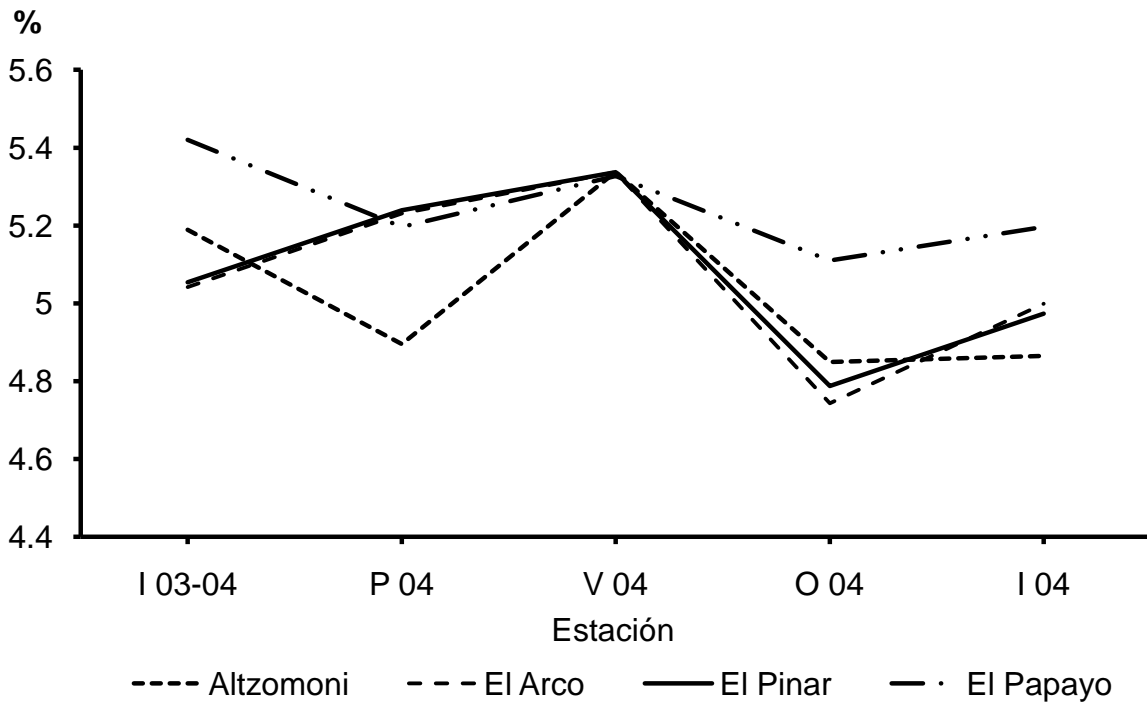
Componente	SITIO			
	Altzomoni	El Arco	El Pinar	El Papayo
Materia Seca	91.27	91.42	91.36	91.37
Proteína Cruda	4.77	5.09	5.09	5.46
Fibra Detergente Neutro	70.29	72.05	71.66	70.35

Altzomoni fue el sitio en donde se observaron las mayores fluctuaciones de MS a lo largo del año (Grafica 1), mientras que en El Arco, El Pinar y El Papayo, los valores fueron muy similares entre sí; asimismo, el porcentaje máximo de producción de MS fue en Altzomoni en el verano del 2004 (91.76%), mientras que el menor fue en El Pinar para la misma época del año (90.85%).

El porcentaje de PC (Grafica 2) (5.33%) se observa en el verano del 2004 para todos los sitios; las mayores fluctuaciones fueron en Altzomoni: en primavera del 2004 mostró un 4.89%, el cual se eleva para el verano a 5.33% y, posteriormente, vuelve a descender a 4.84% en otoño. Este descenso también se observó para El Arco (4.74%) y El Pinar (4.78%), sin embargo, estos sitios muestran una mayor recuperación para el invierno del 2004-2005 (4.99% y 4.97%, respectivamente), lo cual no se observó en Altzomoni que no alcanzó el mismo porcentaje (4.86%). El Papayo manifestó un mayor porcentaje de PC a lo largo del estudio con relación al resto de los sitios evaluados.

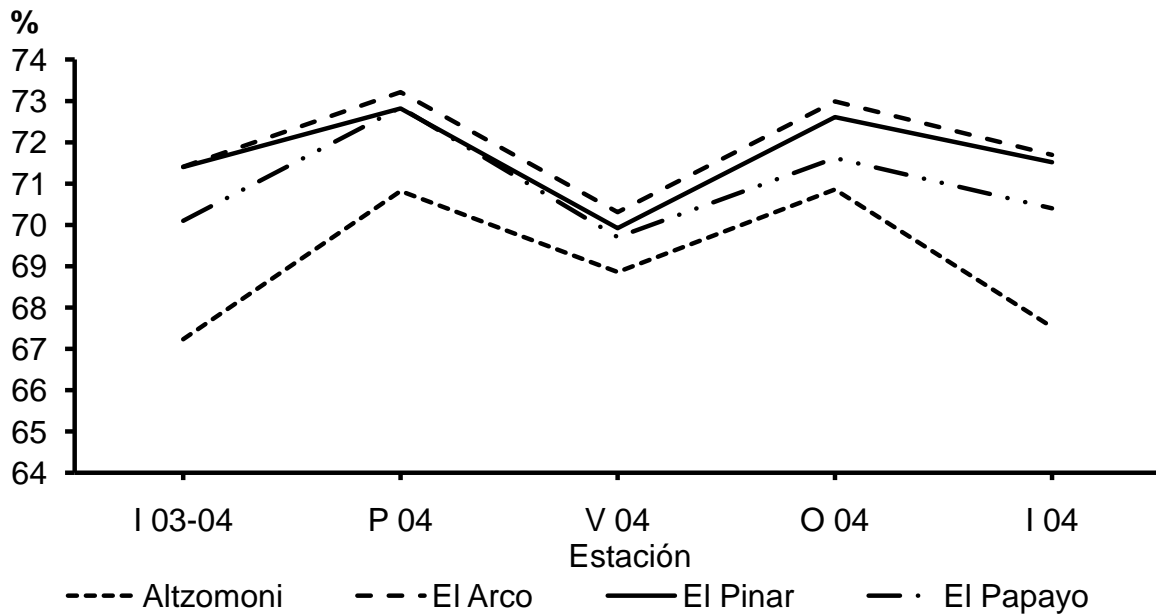


Grafica 1. Porcentaje de Materia Seca por época del año de la vegetación presente en los sitios con presencia de *Romerolagus diazi*.



Grafica 2. Porcentaje de Proteína Bruta por época del año de la vegetación presente en los sitios con presencia de *Romerolagus diazi*.

Por lo que se puede identificar (Grafica 3), es una diferencia en el porcentaje de FDN entre especie de gramínea amacollada para todas las estaciones del año, ya que en El Arco que es el que muestra los mayores porcentajes (73.21%, primavera 2004), El Pinar y El Papayo, donde se identificó como gramínea amacollada a la *Festuca toluensis*, mientras que el de menor porcentaje de FDN fue Alzomoni (67.23%, invierno 2003-2004) donde principalmente se identificó *Muhlenbergia macroura*.



Grafica 3. Porcentaje de Fibra Detergente Neutro por época del año de la vegetación presente en los sitios con presencia de *Romerolagus diazi*.

La producción de toneladas de MS/ha (Cuadro 6), exhibe un leve descenso entre el invierno y la primavera, para posteriormente incrementarse hacia el verano en Alzomoni, El Arco y El Pinar.; este comportamiento no aplicó para El Papayo, debido al método de forestación realizado a partir del otoño del 2004, los valores mayores son para Alzomoni lo cual se relaciona a la mayor densidad y peso de las gramíneas amacolladas presentes en este sitio, se pudiera asumir que en relación a la producción de MS, las poblaciones deberían de mantener números estables y sin cambios a través de las estaciones del año.

Cuadro 6. Producción en toneladas por hectárea y estación del año de Materia Seca (MS), Proteína Cruda (PC) y Fibra Detergente Neutro (FDN), en sitios con presencia de *Romerolagus diazi*.

	Estación				
	I 03-04	P 04	V 04	O 04	I 04
Materia seca					
Altzomoni	19.54	18.40	19.73	20.69	19.58
El Arco	14.32	13.27	11.89	14.66	15.09
El Pinar	14.94	14.22	13.98	15.57	16.01
El Papayo	11.86	12.47	13.14	10.19	6.48
Proteína cruda					
Altzomoni	1.11	0.98	1.14	1.09	1.04
El Arco	0.79	0.76	0.69	0.76	0.82
El Pinar	0.82	0.81	0.82	0.81	0.86
El Papayo	0.70	0.71	0.77	0.56	0.36
Fibra detergente neutro					
Altzomoni	14.40	14.31	14.81	15.99	14.50
El Arco	11.20	10.64	9.20	11.70	11.79
El Pinar	11.68	11.35	10.76	12.37	12.49
El Papayo	9.10	9.96	10.08	7.98	4.97

5.5. Capacidad de carga nutricional (CCN)

Al realizar la estimación por sitio y época el año (Cuadro 7), al aplicar el coeficiente de uso del 35% (Stuth y Sheffield, 2001; citados por Mendoza *et al.*, 2004), se observó que los valores mayores de CCN de teporingos, corresponde a Altzomoni los que se encuentran entre 218.47 a 195.69; en contraste con los estimados en El Arco (89.22 a 70.98), El Pinar (146.15 a 128.76), y Zoquiapan (82.93 a 40.55). Mientras que los rangos para la CCN del Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas, se estimaron entre 511.83 a 483.42 conejos/ha.

Cuadro 7. Estimación de la capacidad nutricional de carga (conejos/ha) para los sitios evaluados en las diferentes estaciones del año, tomando el 35% del coeficiente de uso (Stuth y Sheffield, 2001; citados por Mendoza *et al.*, 2004).

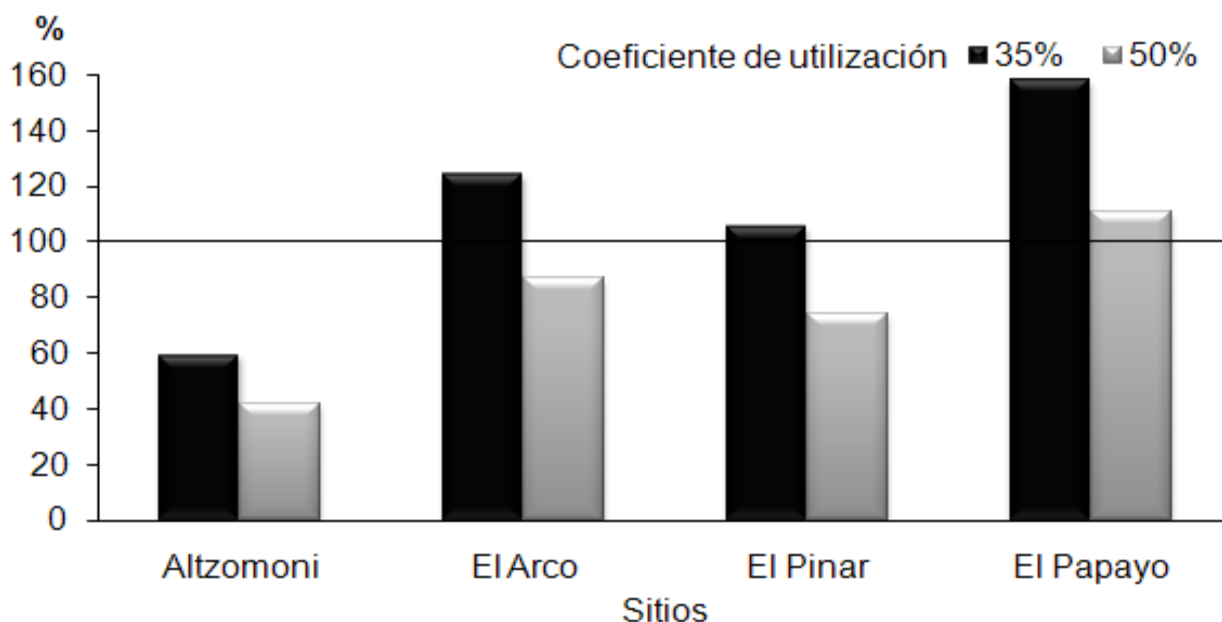
	ESTACION DEL AÑO				
	03-04 I	04P	04 V	04 O	04-05 I
Altzomoni	207.34	195.69	208.23	218.47	207.96
El Arco	85.07	78.84	70.98	86.95	89.22
El Pinar	136.84	130.44	128.76	142.49	146.15
El Papayo	74.46	78.44	82.93	63.91	40.55
Total	503.74	483.42	490.92	511.83	483.89

Cuando se estimó la capacidad de carga nutricional, tomando como coeficiente de utilización el 50% (Cuadro 8), se observó una tendencia similar a lo estimado con el 35%, estos valores de conejos entre las estaciones correspondieron a 719.63 a 694.40 conejos/ha.

Cuadro 8. Estimación de la capacidad nutricional de carga, para los sitios evaluados en las diferentes estaciones del año, tomando el 50% como coeficiente de uso (Cervantes, 1980; Cervantes y Martínez, 1992, 1996).

	ESTACION DEL AÑO				
	03-04 I	04P	04 V	04 O	04-05 I
Altzomoni	296.21	297.21	298.21	299.21	300.21
El Arco	121.53	112.63	101.40	124.21	127.46
El Pinar	195.49	186.35	183.95	203.55	208.78
El Papayo	106.38	112.05	118.47	91.30	57.93
Total	719.63	708.26	702.05	718.29	694.40

A su vez al comparar por los coeficientes de utilización (Grafica 4) en relación a las estimaciones de densidad de este mismo estudio (Cuadro 7 del Capítulo II), se encontró que en Altzomoni aplicando ambos coeficientes de utilización no sobrepasaba al 100% de la CCN (59.60% y 41.76%), mientras que en los casos de El Arco y el Pinar, cuando se usó el coeficiente de utilización del 35%, en ambos sitios la estimación de la CCN sobrepasaba al 100% (124.22% y 105.37%, respectivamente), mientras que con un coeficiente de utilización del 50% las estimaciones de la CCN no alcanzaron al 100%, sin embargo, el que la estimación que se acercó a este 100% fue en El Arco con un 86.95%, mientras que la estimación para El Pinar tuvo un 73.76%. En el Papayo, aplicando ambos coeficientes de utilización, la estimación de CCN sobrepasa al 100% (157.90% y 110.53%), por lo que aunado a la proceso de reforestación, la población estaba haciendo un sobre uso del hábitat, que la llevo a la desaparición.



Grafica 4. Comparación de los coeficientes de utilización, relacionadas a las estimaciones de densidad en cada uno de los sitios.

En El Papayo, al estimar la CCN con un coeficiente de uso del 50%, se obtuvieron valores para el invierno del 2003-2004 (106.38%), primavera (112.05%) y

verano del 2004 (118.47%) que sobrepasaron el 100%, por lo que con estos resultados además de la perturbación por forestación, se explican la desaparición de esta colonia.

6. Discusión

6.1. Composición botánica del hábitat

Se ha reportado que el *Romerolagus diazi* tiene restricciones de hábitat, dado que selecciona su hábitat en relación a la cobertura de escape y de protección (Cervantes, 1980; Martínez, 1987, Cervantes *et al.*, 1990; Cervantes y Martínez, 1992; Chávez y Trigo, 1996; Rangel, 1996; Romero y Velázquez, 1996; Velázquez *et al.*, 1996; Heil, 2003; Trigo *et al.*, 2003; Velázquez *et al.*, 2003). En este estudio se observó algo similar dado que se ubicaron las colonias en sitios donde predominaban las gramíneas amacolladas, con una altura mínima de 87 cm. Los hábitats del *Romerolagus diazi* presentan diferentes especies de gramíneas amacolladas y algunas otras plantas, con predominan *Festuca sp.*, *Eryngium rosei*, *Muhlenbergia sp.* y *Stipa ichu* (Cervantes, 1980; Martínez, 1987, Cervantes y Martínez, 1992; Rangel, 1996); en este estudio tres de estas plantas se encontraron en los sitios evaluados, sólo la *Stipa ichu* no se localizó, además, las especies se encontraron en los rangos altitudinales (de 2,500 a 4,300 msnm) que reportó Heil (2003)

En el estrato herbáceo, Cervantes (1980) identificó cuatro gramíneas amacolladas (*Muhlenbergia macroura*, *Stipa ichu*, *Festuca amplissima* y *Festuca rosei*), de las cuales sólo una (*Muhlenbergia macroura*) coincide con las encontradas en este estudio; además, en Altzomoni se identificó *Arundinella deppeana* y otras especies asociadas como *Penstemon stenophyllus*, *Geranium potentillae folium*, *Eryngium sp.*, *Dahlia sp.*, *Salvia sp.*, *Stachys agraria*, *Verbena sp.*, *Scutelaria sp.* y *Cirsium sp.*

6.2. Hábitos alimenticios

Estudios anteriores se realizaron en las cercanías del volcán El Pelado, en el poblado de Parres en la delegación Tlalpan del Distrito Federal (Cervantes, 1980, Martínez, 1987, Cervantes y Martínez, 1992, Cervantes y Martínez, 1996). De acuerdo a éstos, la dieta del teporingo se basa en *Muhlenbergia macroura*, *Stipa ichu* y *Festuca amplissima*, pero no reportan si estas gramíneas se encontraban en asociación con

otras gramíneas. En Altzomoni, por ejemplo, sólo se encontraron dos especies de *Muhlenbergia* (*M. macroura* y *M. emersleyi*) además de *Arundinella deppeana*; en este estudio los valores más altos en frecuencia de aparición correspondieron a *Muhlenbergia macroura* con 94.8% en Altzomoni, mientras que en esta misma zona Martínez (1987) reportó solo el 86.62% para la misma área.

Romerolagus diazi consume hojas bajas y tiernas de dos plantas con hojas espinosas: *Eryngium sp.* y *Cirsium sp.*, de las cuales, la primera es más utilizada debido a su mayor abundancia (Cervantes y Martínez, 1992); en este estudio sólo se detectó *Eryngium sp.*, en cuatro de los cuatro sitios y su uso puede estar relacionado con un alto contenido de proteína (17.79%).

Otra especie de lagomorfo con características fenotípicas y requerimientos de hábitat similares al *Romerolagus diazi* es el conejo pigmeo (*Brachylagus idahoensis*), el cual no sólo usa como cobertura de protección y escape vegetación arbustiva, sino también se alimenta de plantas muy específicas (es decir, tiene una dieta especializada) (Green y Flinders, 1980ab; White *et al.*, 1982b; Keinath y McGee, 2004; Thines *et al.*, 2004; Shipley *et al.*, 2006).

En el caso de esta investigación, se observó un incremento en el tamaño de la población, al mismo tiempo que se incrementó la disponibilidad de proteína de 4.78% a 5.33% en el hábitat. Se han realizado estudios relacionados en otros lagomorfos; por ejemplo, algunos ejemplares del conejo cola blanca (*Sylvilagus floridanus*) mantenidos en cautiverio, los cuales fueron alimentados con proteína entre 12% y 16% y mostraron crecimientos aceptables; en contraste, al ser alimentados con sólo un 10%, redujeron su tasa de crecimiento (Snyder *et al.*, 1976). Otro caso es el de poblaciones de liebre americana (*Lepus americanus*) en la región del Yukon, a las cuales se le suministró alimento en el hábitat para sobrevivir el invierno, sin embargo, a pesar de esta estrategia, no se observó que se mantuvieran o aumentaran las poblaciones en épocas de nevadas (Krebs *et al.*, 1986). Otro factor que afecta la disminución de las poblaciones es la depredación, actuando sola o en forma sinérgica con la escasez del alimento (Sinclair *et al.*, 1988); en este estudio, las poblaciones del *Romerolagus diazi*, se vieron disminuidas en invierno y primavera.

El *Romerolagus diazi* responde favorablemente a disturbios del hábitat, algo similar se ha reportado en el conejo cola blanca (*Sylvilagus floridanus*) en Oklahoma, asumiendo que es debido a la calidad de proteína de la vegetación, sin embargo, se ha observado que hábitats entre 4 y 5 años después de ser alterados, aportaban una proporción de proteína de más alta calidad, mientras que hábitats perturbados entre 7 y 9 años, la calidad de la proteína disminuía (Lochmiller *et al.*, 1995).

6.3. Capacidad de carga nutricional (CCN)

Aunque la capacidad de carga es uno de los parámetros rara vez entendido completamente y estimado, importante, útil en la gestión de la población y el modelado. Una simple métrica de comportamiento de capacidad de carga pasaría la teoría, conservación y gestión de las poblaciones biológicas, (Morris y Mukherjee, 2007), en este estudio se puede observar que en catorce de veinte estimaciones se sobrepasa la densidad calculada, lo que pudiera indicar que al estimar este parámetro para *Romerolagus diazi*, debe aplicarse un coeficiente de uso mayor al 35%. A su vez los sitios que se encuentran más cercanos a llegar al límite de la CCN son El Pinar y El Arco, lo que explica las pocas fluctuaciones que se encuentran en su población. Mientras que en Alzomoni donde hay un mayor margen entre la población y la capacidad nutricional de carga, es donde al presentarse la época de lluvias, se incrementan algunos de los nutrientes (materia seca y proteína bruta, principalmente) presentes en el hábitat, y los conejos responden positivamente en su reproducción e incrementan en número de animales, asimismo en contraria en la época de sequía.

Al estimar la CCN por medio de los requerimientos de MS del *Romerolagus diazi* (Sánchez, 2009), se observó cómo se fue modificando este a lo largo de las estaciones. El sitio donde el porcentaje de la CCN fue más baja en relación a la estimación de densidad fue Alzomoni, mientras que El Arco y El Pinar son sitios donde esta se encuentra muy cerca de acercarse a lo que pudiera considerarse como un equilibrio de la población, en este sentido cuando se ha estimado la CCN en otras especies, esta se ha basado sobre los requerimientos de los animales de proteína y energía principalmente, así que la capacidad de carga para la codorniz cotuí (*Colinus virginianus*) fue estimada con base a energía (Guthery, 1999), lo mismo para la

codorniz Moctezuma (Hernández *et al.*, 2005), el ganso blanco (*Chen caerulescens atlantica*) (Massé *et al.*, 2001), y el borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) en Texas (DeYoun *et al.*, 2000). Sin embargo, no en todos los animales se usa solo la energía; por ejemplo, en el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) la estimación de la CCN se ha realizado con diferentes nutrimentos, los cuales involucraron disponibilidad de materia seca, energía digestible, nitrógeno digestible, materia seca más energía digestible y nitrógeno, y materia seca más energía digestible. Es posible utilizar cualquiera de los métodos indicados para determinar la calidad nutricional relativa de las comunidades vegetales; sin embargo, la técnica de estimación materia seca es la menos costosa con relación al resto, por lo tanto, no es necesario utilizar técnicas más costosas para estimar la CCN, sino de que esto satisfaga a la pregunta biológica formulada (McCall *et al.*, 1997).

Los procedimientos tradicionales para la estimación de la CCN fallan en la detección de las interacciones entre esta y el estatus nutricional del animal. Para que esta estimación se acerque a lo real debe contemplarse la relación entre el aporte nutricional del hábitat y los requerimientos alimenticios de los animales, más que la cantidad de forraje, la calidad debe integrarse como un componente importante del hábitat (Hobbs y Swift, 1985).

El concepto de capacidad de carga nutricional en sistemas de planta-herbívoro implica, el equilibrio de la densidad poblacional del herbívoro; los datos en la literatura indican que tal hipótesis podía ser válida en ambientes deterministas o de variación baja, pero en los ambientes estocásticos que son caracterizados por un alto nivel de variación ambiental imprevisible, el concepto no es útil para describir dinámica planta-herbívoro (McCleod, 1997). Asimismo, una variable que se ha considerado en *Oryctolagus cuniculus* es la extensión del ámbito hogareño, es más grande durante la estación reproductiva, así como los adultos tienden a tener ámbitos hogareños más pequeños en relación a los jóvenes, por lo que antes de realizar la estimación de la capacidad nutricional de carga, es prudente establecer la estructura de población, dado que hay variaciones en los ámbitos hogareños (Devillard *et al.*, 2008).

Mandujano (2007) define la capacidad de carga como la densidad al equilibrio más el número de animales eliminados por los depredadores. En su estudio sobre la

estimación de la capacidad de carga y el potencial de producción para uso humano de venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) y pecarí de collar (*Pecari tajacu*), en las cercanías de la Reserva de la Biosfera de Chamela, Jalisco, sus estimaciones de capacidad de carga fueron de 16.5 a 17.2 venados/km² y 9.3 a 9.5 pecaríes/km², representando una biomasa combinada de 841-874 kg/km², con una producción potencial para el uso de 2.1 venados/km² y 4.4 de pecaríes/km². Asimismo, este autor indica que para obtener una valoración exacta de la máxima la producción sostenible (MSY), es necesario considerar la depredación; desde un punto de vista de manejo, también es importante tomar en cuenta que la capacidad de carga nutricional varía en función del patrón de precipitación (Mandujano, 2007; Morris y Mukherjee, 2007).

Sin embargo, un problema básico no sólo consiste en la estimación de la CCN, sino que no existe una definición universalmente aceptada, ya que da la impresión de que cada investigador hace una nueva definición que se acomode a sus intereses. Una solución en este sentido puede ser lo propuesto por Gabriel *et al.* (2005) en relación con las dos paradojas realizadas por Levins y Ginzburg en la ecuación logística, estos autores para la resolución de estas dos paradojas, hacen la distinción entre dos conceptos ecológicos: capacidad de carga y equilibrio de la población. Por lo que entendiendo estos dos conceptos, se debe definir la capacidad de carga como la carga máxima del ambiente y así la paradoja de Ginzburg no se presentará (Hui, 2006).

7. Conclusiones

Se confirmó que la dieta del *Romerolagus diazi*, está basada en gramíneas amacolladas, específicamente *Muhlenbergia macroura* y *Festuca toluencis*, sin embargo, en este estudio, el número de ítems alimenticios fue menor que lo reportado en previos estudios.

En relación con la calidad y aporte nutricional del hábitat, se observó que en todos los sitios evaluados la producción de biomasa de materia seca y sus nutrientes (proteína cruda y fibra detergente neutro) incrementó en la época de lluvias.

El hábitat puede ser clasificado nutricionalmente como malo ya que su mayor concentración de proteína cruda fue de 5.46%, sin embargo, es posible que el método

microhistológico no detecte algunos alimentos altamente digestibles con alto contenido de proteínas.

Para estimar la capacidad nutricional de carga en esta especie se recomienda utilizar un coeficiente de uso de 50%. A su vez el sitio donde la población se encuentra cercana al 50% de la CCN en relaciona la densidad estimada es Altzomoni, donde aparentemente la población responde a los cambios ambientales, mientras que en El Pinar y El Arco, la capacidad se acerca al 100%, por lo que se considera que estas áreas son las que necesitan de una mayor conservación.

8. Recomendaciones de manejo

Los resultados de este estudio permiten sugerir algunas medidas de conservación y manejo del hábitat del conejo teporingo en el Parque nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas. Por consiguiente, es necesario resguardar zonas con gramíneas amacolladas a una densidad y altura mínima de 1.28 m² y 71.1 cm, respectivamente, así como un diámetro de la base del macollo de 79.7 cm, y al realizar la estimación del peso de las gramíneas y la producción de biomasa este de ser por lo menos de 1.30 kg/m² y 1.18 kg/m², respectivamente. Además, al parecer no existe competencia con los bovinos con relación al forrajeo, sin embargo, la ganadería extensiva si representan un peligro, por la práctica generalizada de realizar quemas de pastizales (para estimular los renuevos de pastos) que realizan los ganaderos en el área y que daña las condiciones de estructura de la vegetación necesarias para los conejos.

De las áreas estudiadas, es muy importante dar atención a El Pinar y El Arco debido a que son sitios en los que se detectó que la población de teporingos se están acercando a sobrepasar la capacidad de carga nutricional. Existe el antecedente de Paso de Cortes y El Papayo donde desaparecieron las colonias, tanto por efectos atropogénicos como sobrepasar su CCN. Por consiguiente, es urgente que se establezca un plan de conservación, donde se identifique el factor que está determinando el posible deterioro del hábitat para estas poblaciones, además, es necesario también implementar medidas para restringir las actividades antropogénicas en la zona, ya que las poblaciones están muy cercanas a caminos.

La capacidad de carga nutricional debería implementarse como indicador de la salud del ecosistema; un caso de esto puede ser la metodología propuesta por Massé *et al.* (2001), en relación a la realización de exclusas para determinar el crecimiento de las gramíneas amacolladas, además de estimar constantemente los aportes nutricionales de la vegetación presente en esta Área Natural Protegida.

Se recomienda la implementación de monitoreos continuos y sistemáticos de las poblaciones de *Romerolagus diazi*.

9. Literatura citada

- AOAC. 1955. Methods of Analysis (8^a. Ed.). Association of Official Analytical Chemist, Washington, D.C.
- AOAC. 1990. Methods of Analysis (15th Ed.). Association of Official Analytical Chemist, Washington, D.C.
- Bartolomé, J., J. Franch, M. Gutman, and N. A. G. Seligman. 1995. Technical Note: Physical factors that influence fecal analysis estimates of herbivore diets. *J. Range Manage.* 48:267-270.
- Bonham, C. D. 1989. Biomass. *In: Measurements for terrestrial vegetation.* John Wiley & Sons. Ney York USA. pp. 199-264.
- Bonino, N., and L. Borrelli. 2006. Variación estacional en la dieta del conejo silvestre europeo (*Oryctolagus cuniculus*) en la región andina de Neuquén, Argentina. *Ecol. Austr.* 16:7-13.
- Bonino, N. 2006. Interacción trófica entre el conejo silvestre europeo y el ganado doméstico en el noroeste de la Patagonia Argentina. *Ecol. Austr.* 16:135-142.
- Bonser, S. P., and R. J. Reader. 1995. Plant competition and herbivory in relation to vegetation biomass. *Ecology.* 76:2176-2183.
- Brody, S. 1945. Bioenergetics and growth. Reinhold Publishing Co., New York. pp. 1023.
- Cacho, C., J. Muñoz, F. Guil, A. San Miguel. 2003. Selección y utilización de pastos sembrados por una población de conejos de los Montes de Toledo. En: Robles, A. B., M. E. Ramos, M. C. Morales, E. Simón, J. L. González-Rebollar, Y J. Boza (Eds.) Pastos, desarrollo y conservación. Junta de Andalucía. Granada. pp: 525-530.

- Cervantes, F. A. y Martínez V. J. 1996. III. Morfología, taxonomía y sistemática del conejo zacatuche. En: Velázquez A., Romero F. J, y López-Paniagua J. (Comp.). Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat. Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica-UNAM, México D.F. pp. 29-40.
- Cervantes, F. A., and J. Martinez. 1992. Food habits of the rabbit *Romerolagus diazi* (Leporidae) in central México. J. Mammal. 73:830-834.
- Cervantes, R. F. A., C. Lorenzo, and R. S. Hoffmann. 1990. *Romerolagus diazi*. Mammal. Spec. 360:1-7.
- Cervantes, R. F. A. 1980. Principales características biológicas del conejo de los volcanes *Romerolagus diazi*, Ferrari Perez 1893 (Mammalia: Lagomorpha), Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias (Biología). Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp 137.
- Chávez, C. J. M., y B. N. Trigo. 1996. Programa de manejo para el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl. Colección Ecología y Planeación. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. pp. 285.
- Devillard, S., J. Aubineau, F. Berger, Y. Léonard, A. Roobrouck, and S. Marchandeu, S. 2008. Home range of the European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) in three contrasting French populations. Mamm. Biol. 73:128–137.
- DeYoung, R. W., E. C. Hellgren, T. E. Fulbright, W. F. Robbins Jr., and I. D. Humphreys. 2000. Modeling nutritional carrying capacity for translocated desert bighorn sheep in Western Texas. Restor. Ecol. 8,4S:57-65.
- Flinders, J. T., and R. M. Hansen. 1975. Spring population responses of cottontails and jackrabbits to cattle grazing shortgrass prairie. J. Range Manage. 28:290-293.
- Guthery, F. S. 1999. Energy-based carrying capacity for quails. J. Wildl. Manage. 63:664-674.
- Gabriel, J. P., F. Suacy, F., and L. F. Bersier. 2005. Paradoxes in the logistic equation? Ecol. Model. 185:147-151.
- González, E. A., y A. J. A. Pérez. En Prensa. Técnica Microhistológica Modificada. Área de Forrajes. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo.
- Grant, P. R. 1978. Dispersal in relation to carrying capacity. Proc. Natl. Acad. Sci. 75:2854-2858.
- Green, J. S., and J. T. Flinders. 1980a. Habitat and dietary relationships of the pygmy rabbit. J. Range Manage. 33:136-142.

- Green, J. S., and J. T. Flinders. 1980b. Habitat and dietary relationships of the pygmy rabbit. *J. Range Manage.* 33:136-142.
- Hanley, T. A., and J. J. Rogers. 1989. Estimating carrying capacity with simultaneous nutritional constraints. Research note PNW-RN-485. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 31 p.
- Hayden, P. 1966. Food habits of black-tailed jack rabbits in Southern Nevada. *J. Mammal.* 47:42-46.
- Heil, G. W. 2003. Dynamics of plant communities in the Iztaccíhuatl-Popocatepetl National Park. In: *Ecology and man in Mexico's Central Volcanoes area*, Ed. Heil G. W., Bobbink R., and Trigo B. N. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. pp. 125-146.
- Hernández, T. M., G. D. Mendoza, C. Zaragoza, F. Clemente, L. Tarango, and r. Valdéz R. 2003. A methodology to estimate nutritional carrying capacity for Montezuma quail. *In: Proceedings of The Wildlife Society 10th Annual Conference*, Burlington, Vermont. 143 p.
- Hernández, T. M., M. G. D. Mendoza, H. C. Zaragoza, S. F. Clemente, A. L. Tarango, y Valdez R. 2005. Estimación de la capacidad de carga nutricional para *Cyrtonyx montezumae*. *Rev. Cien. FCV-LUZ Venezuela* 15:27-32.
- Hobbs, N. T., and D. M. Swift. 1985. Estimate of habitat carrying capacity incorporating explicit nutritional constraints. *J. Wildl. Manage.* 48:814-822.
- Hobbs, N. T., D. L. Baker., and R. B. Gill. 1983. Comparative nutritional ecology of montane ungulates during winter. *J. Wildl. Manage.* 47:1-16.
- Hobbs, N. T., D. L. Baker, J. E. Ellis, D. M. Swift, and R. A. Green. 1982. Energy and nitrogen-based estimates of elk winter range carrying capacity. *J. Wildl. Manage.* 46:12-21.
- Holechek, J. L., M. Vavra, and R. D. Pieper. 1982. Botanical composition determination of range herbivore diets: A review. *J. Range Manage.* 35:309-315.
- Hui, C. 2006. Letter to the editor. *Ecol. Model.* 192:317-320.
- Katona, K., and V. Altbäcker. 2002. Diet estimation by faeces analysis: sampling optimisation for the European hare. *Folia Zool.* 51:11-15.
- Katzner, T. E., and K. L. Parker. 1997. Vegetative characteristics and size of home ranges used by pygmy rabbits (*Brachylagus idahoensis*) during winter. *J. Mammal.* 78:1063-1072.

- Keinath, D. A., and M. McGee. 2004. Species assessment for pygmy rabbit (*Brachylagus idahoensis*) in Wyoming. United States Department of the Interior. Bureau of Land Management Wyoming State Office Cheyenne, Wyoming. pp 82.
- Krebs, C. J., B. S. Gilbert, S. Boutin, A. R. E. Sinclair, and J. N. M. Smith. 1986. Population biology of snowshoe hare. I. Demography food-supplemented populations in the southern Yukon. *J. Anim. Ecol.* 55:963-982.
- Krebs, C. J.; S. Boutin, R. Boonstra, A. R. E. Sinclair., J. N. M. Smith, M. R. T. Dale, K. Martin, and R. Turkington. 1995. Impact of food and predation on the snowshoe hare cycle. *Science New series.* 269(5227):1112-1115.
- Lochmiller, R. L., D. G. Peitz, D. M. Leslie Jr., and D. M. Engle. 1995. Habitat-induced changes in essential amino-acid nutrition in populations of Eastern cottontails *J. Mammal.* 76:1164-1177.
- Mandujano, S. 2007. Carrying capacity and potential production of ungulates for human use in a Mexican tropical dry forest. *Biotropica.* 39:519–524.
- Martínez, V. J. 1987. Estudio sobre la variación estacional de la dieta del Zacatuche o Teporingo, *Romerolagus diazi*, (Mammalia: Lagomorpha). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias (Biología). México D.F.
- Massé, H., L. Rochefort, and G. Gauthier. 2001. Carrying capacity of wetland habitats used by breeding greater snow geese: *J. Wildl. Manage.* 65:271-281.
- McCall, T. C., R. D. Brown, and L. C. Bender. 1997. Comparison of techniques for determining the nutritional carrying capacity for white-tailed deer. *J. Range Manage.* 50:33-38.
- McInnis, M. L., M. Vavra, and W. C. Krueger. 1983. A comparison of four methods used to determine the diets of large herbivores. *J. Range Manage.* 36:302-306.
- Mendoza, M. G. D., V. G. Bravo, G. M. Crosby, T. M. Hernández, V. R. Ricalde, P. F. Plata, V. B. Aguilar, M. T. J. Méndez, R. V. H. Reynoso, y G. J. L. Arcos. 2004. Metodología propuesta para la estimación de la capacidad nutricional de carga para la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*). Preguntas biológicas de investigación básica. VII Reunión Nacional sobre Iguanas. Universidad del Mar. Campus Puerto Escondido. Puerto Escondido Oaxaca México. 27 al 29 de mayo de 2004. pp. 48-62.
- Morris, D. W., and S. Mukherjee. 2007. Can we measure carrying capacity with foraging behavior? *Ecology.* 88:597-604.

- Mukhtar, H. K., and R. M. Hansen. 1983. Fiber effects on microhistological analysis. *J. Range Manage.* 36:477-478.
- Nudds, T. D. 1980. Forage preference: Theoretical consideration of diet selection by deer. *J. Wildl. Manage.* 44:735-740.
- Paton, D., J. Nuñez-Trujillo, M. A. Díaz, and A. Muñoz. 1999. Assessment of browsing biomass, nutritive value and carrying capacity of shrublands for red deer (*Cervus elaphus* L.) management in Monfragüe natural park (SW Spain). *J. Arid Environ.* 42:137-147.
- Peitz, D. G., R. L. Lochmiller, D. M. Leslie Jr., and D. M. Engle. 1997. Protein quality of cottontail rabbit forages following rangeland disturbance. *J. Range Manage.* 50:450-458.
- Potvin, F., and J. Huot. 1983. Estimating carrying capacity of a white-tailed deer wintering area in Québec: *J. Wildl. Manage.* 47:463-475 .
- Rangel, C. R. 1996. Descripción y uso de hábitat de *Romerolagus diazi*: Efecto del fuego sobre el zacatonal alpino del volcán Iztaccíhuatl. México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias (Biología). México D.F.
- Robbins, C. T. 1992. Food intake regulation. In: *Wildlife feeding and nutrition*. Academic Press, Inc. San Diego California USA. pp. 323-344.
- Romero, F. J., y A. Velázquez. 1996. El conejo zacatuche. Tan lejos de Dios y tan cerca de la ciudad de México. Instituto Nacional de Ecología-Consejo Nacional de la Fauna. México D.F. México. pp. 31.
- Sánchez, T. M. 2009. Efecto del nivel de fibra de *Muhlenbergia macroura* sobre peso, consumo y digestibilidad en el conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*). Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma Metropolitana.
- SAS. 2001. *Statistical Analysis System SAS/STAT® User's Guide (Release 6.03)*. SAS Inst. Inc. Cary, N.C. USA.
- ShIPLEY, L. A., T. B. Davila, N. J. Thines., and B. A. Elias. 2006. Nutritional requirements and diet choices of the pygmy rabbit (*Brachylagus idahoensis*): A sagebrush specialist. *J. Chem. Ecol.* 32:2455-2474.
- Sinclair, A. R. E., C. J. Krebs., J. N. M. Smith, and S. Boutin. 1988. Population biology of snowshoe hares. III. Nutrition, plant secondary compounds and food limitation. *J. Anim. Ecol.* 57:787-806.
- Snyder, W. I., M. E. Richmond, and W. G. Pond. 1976. Protein nutrition in juvenile cottontail. *J. Wildl. Manage.* 40:484-490.

- Thines, N. J., L. A. Shipley, and R. D. Saylor. 2004. Effects of cattle grazing on ecology and habitat of Columbia Basin pygmy rabbits (*Brachylagus idahoensis*). *Biol. Conserv.* 119:525–534.
- Trigo, B. N., H. A. Chimal, G. W. Heil, R. Bobbink, and B. Verduyn. 2003. Classification and mapping of the vegetation using field observations and remote sensing. In: *Ecology and man in Mexico's Central Volcanoes area*, Ed. Heil G. W., R. Bobbink, and B. N. Trigo. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. pp. 19-48.
- Van Soest, J. P., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597.
- Velázquez, A. 1994. Multivariate analysis of the vegetation of the volcanoes Tláloc and Pelado, Mexico. *J. Veget. Sci.* 5:263-270.
- Velázquez, A., F. J. Romero, y L. León. 1996. VI. Fragmentación del hábitat del conejo zacatuche. En: Velázquez A., F. J. Romero, y J. López-Paniagua (Comp.). *Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat*. Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica, México D.F. pp. 73-86.
- Velázquez, A., F. J. Romero, H. Rangel-Cordero, and G. W. Heil 2003. Effects habitat fragmentation on the mammalian assemblage at the Iztaccíhuatl-Popocatepetl volcanoes, Mexico. In: *Ecology and man in Mexico's Central Volcanoes area*, Ed. Heil G. W., R. Bobbink, and B. N. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. pp. 100-124.
- Wehausen, J. D., V. C. Bleich, B. Blong, and T. L. Russi. 1987. Recruitment dynamics in a southern California mountain sheep population. *J. Wildl. Manage.* 51:86-98.
- White, G. C. 1978. Estimation of plant biomass from quadrat data using the lognormal distribution. *J. Range Manage.* 31:118-120.
- White, S. M., J. T. Flinders, and B. L. Welch. 1982a. Preference of pygmy rabbits (*Brachylagus idahoensis*) for various populations of big sagebrush (*Artemisia tridentata*). *J. Range Manage.* 35:724-726.
- White, S. M., B. L. Welch, and J. T. Flinders. 1982b. Monoterpenoid content of pygmy rabbit stomach ingest. *J. Range Manage.* 35:107-109.
- Wolff, J. O. 1978. Food habits of snowshoe hares in interior Alaska. *J. Wildl. Manage.* 42:148-153.