



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO  
DE MORELOS**

---

---

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN  
BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN**

**DENSIDAD POBLACIONAL Y ANÁLISIS DEL HÁBITAT DEL CONEJO  
ZACATUCHE (*Romerolagus diazi*) EN EL PARQUE NACIONAL IZTACCÍHUATL  
POPOCATÉPETL**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN BIOLOGÍA INTEGRATIVA DE LA  
BIODIVERSIDAD Y LA CONSERVACIÓN**

**PRESENTA:**

**BIOL. KAREN GIOVANNA CASTILLO SÁNCHEZ**

**DIRECTOR: DR. JOSÉ ANTONIO GUERRERO ENRIQUEZ**



**CUERNAVACA, MORELOS. MAYO, 2021**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma del Estado de Morelos y al Programa de Maestría en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación del Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación (CIByC) por darme la oportunidad de formar parte de su comunidad y al mismo tiempo seguir superándome académicamente.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por otorgarme la beca que me permitió llevar a cabo mis estudios de maestría.

A Volkswagen de México por su apoyo financiero y en actividades de campo en el Programa de restauración, protección y conservación de los recursos naturales del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl.

Al Dr. José Antonio Enriquez Guerrero por haberme dado la confianza de trabajar con él y su equipo de trabajo, abriéndome nuevamente las puertas de la vida académica y permitirme conocer más cosas de este increíble conejito. Mil Gracias.

Al comité revisor de tesis: Dra Sonia Gallina Tessaro, Dra. Areli Rizo Aguilar, Dra. Verónica Farias y Dr. David Valenzuela por sus comentarios y aportaciones a mi trabajo.

A mis amigos y compañeros de campo Rene Valencia Díaz y Virginia Benítez Paramo por apoyarme, ser cómplices y darme en muchas ocasiones las ganas y los ánimos para seguir con esto adelante.

A Emery Farfán, Jessica Guerrero, Susana Sánchez, Zuri Vera, Mariana Solorio por integrarme tan gentilmente a sus equipos de trabajo y especialmente al Dr. Juan Manuel Uriostegui Velarde por compartirme tan valiosos conocimientos de la especie y sobre todo su simpatía.

Finalmente, a mis padres María Isabel Sánchez Solares y Rafael Castillo Galicia, jamás terminare de agradecerles todo el apoyo incondicional que me han brindado, por ser mi fortaleza, a ustedes les dedico estos pequeños éxitos que tengo, son tan míos como de ustedes. A mis hermanos Victor Hugo, Myli y mi pequeño ser Xime, sin ustedes nada de esto tendría sentido.

*Pedes in terra ad sidera visus*

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	6
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	8
<b>OBJETIVOS</b> .....	18
<b>MÉTODO</b> .....	19
<i>Zona de estudio</i> .....	19
<i>Sítios de muestreo</i> .....	20
<i>Análisis de densidad</i> .....	22
<i>Tasa de crecimiento poblacional</i> .....	24
<i>Relación de la densidad con factores ambientales</i> .....	24
<i>Análisis de hábitat</i> .....	25
<i>Disponibilidad y selección de hábitat</i> .....	27
<b>RESULTADOS</b> .....	28
<i>Densidad poblacional</i> .....	28
<i>Tasa de crecimiento poblacional</i> .....	33
<i>Análisis de hábitat</i> .....	35
<i>Disponibilidad y selección de hábitat</i> .....	42
<i>Densidad, variación poblacional y relación con factores ambientales</i> .....	45
<i>Selección y disponibilidad del hábitat</i> .....	47
<b>ANÁLISIS</b> .....	48
<b>CONCLUSIONES</b> .....	51
<b>IMPLICACIONES PARA LA CONSERVACIÓN</b> .....	52
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	54

## **INDICE DE FIGURAS**

<i>Figura 1 Localización del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl, y del polígono denominado "Volkswagen de México" dentro del Parque Nacional.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2 Ubicación de los sitios de conteo. Dentro del mapa se enumera cada cuadrante con sus respectivos transectos y parcelas de conteo de excretas en el polígono denominado "Volkswagen de México" (zona sombreada) .....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3 Densidades poblacionales trimestrales por sitio durante el periodo 2012-2017 .....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4 Densidad poblacional promedio de los años de muestreo (2012-2017) por sitio, mostrando las diferencias entre las densidades poblacionales por sitio.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 5 Variación poblacional promedio del teporingo de 2012-2017 en periodos trimestrales. Se observa la tendencia negativa de crecimiento.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 6 Tasa finita de crecimiento por sitio, por periodos anuales de 2012 a 2017. ....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 7 Mapa reclasificados: Uso de suelo y vegetación (A), Altitud (B), Pendiente (C), Orientación (D). ....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 8 Diagrama de correlación de variables. ....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 9 Mapa de combinación de capas del Hábitat adecuado para el teporingo (HSI). ....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 10 Superficie en porcentaje de los tipos de vegetación reclasificados dentro del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl. ....</i>	<i>43</i>

## **INDICE DE TABLAS**

<i>Tabla 1.- Valores reclasificados de altitud.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 2.- Valores reclasificados de pendiente .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 3.- Valores reclasificados de orientación .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 4.- Modelos generalizados mixtos ajustados mediante una función gamma. Con el valor AIC resultante para cada uno.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 5.- Coeficientes del modelo glm (Promedio+ 0.001 ~ Altitud+Pendiente*Veg, family = Gamma (link = "log")). ....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 6.- Superficie de uso de suelo y vegetación dentro del ANP y registro de la especie por superficie. ....</i>	<i>42</i>

## **RESUMEN**

*Romerolagus diazi* es un lagomorfo en peligro de extinción, endémico de una porción de 384 km<sup>2</sup> en la parte central de la Faja Volcánica Transmexicana, Se encuentra en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza IUCN, catalogado como especie amenazada, mientras que en la NOM-059-SEMARNAT-2010 está como una especie en peligro de extinción. El Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl (PNIP) es considerado una zona núcleo para el zacatuche. Los objetivos de este trabajo fueron analizar la tendencia poblacional de la especie a partir de los datos obtenidos de 2012 a 2017 en la zona centro del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl, describir y caracterizar el hábitat y analizar la selección de éste por la especie dentro del PNIP. Se realizó la reclasificación de la capa de vegetación en base a una imagen satelital SENTINEL 2 del Modelo de Elevación Digital (DEM), se reclasificaron los valores de pendiente y aspecto con valores de 0-10 de acuerdo con la selección observada de la especie, bajo el mismo criterio se reclasificó la capa de curvas de nivel (altitudes) en 0-10, y se definieron 6 tipos de vegetación en la poligonal de parque, los cuales corresponden a Zacatonal, Zacatonal-Pino, Pino-Zacatonal, Jarilla, Pino-Oyamel y Sin Vegetación. Posteriormente, a cada capa se le asignó el valor de importancia relativa mediante un Proceso Analítico jerárquico (AHP) para finalmente generar la capa de hábitat adecuado (HSI). Los datos de conteo de letrinas se analizaron mediante un Modelo Lineal Generalizado (GLM) Mixto, el modelo más parsimonioso fue el que incluyó las variables de pendiente, altitud y vegetación como factor ((Modelo <- glm (Promedio+ 0.001 ~ Altitud+Pendiente\*Veg, family = Gamma(link =

"log")) con criterio de información de Akaike (AIC) de 4889. El análisis de uso de hábitat indicó que el zacatonal representa el 12.82% de la superficie del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl (PNIP) siendo el tipo de vegetación seleccionado por la especie.

De la extensión total del polígono del PNIP (39, 819 ha) sólo el 26.30% (10,473.08 ha) cuenta con las características óptimas para el zacatuche de acuerdo con el AHP, con un valor de HSI de entre 8 y 10 y sólo 224 ha alcanzaron un valor de HSI de 10. Los análisis de densidad poblacional mostraron que existe una diferencia significativa entre las densidades poblacionales de los cuadrantes, pero no entre los periodos trimestrales; y que no existe una relación entre los factores ambientales con la densidad ya sea trimestral o anual. La densidad poblacional del teporingo en la zona de estudio se ha mantenido estable de 2012 a 2017, a diferencia de otros sitios en los que se ha observado un decremento en el tamaño poblacional de la especie debido principalmente a actividades antropomórficas. A diferencia de otros sitios la densidad poblacional de zacatuche en el PNIP es mayor principalmente al grado de conservación en el que se encuentran los zacatonales, sin embargo, es necesario implementar medidas de manejo que favorezcan el mantenimiento de este ecosistema.

**PALABRAS CLAVE** Zacatuche, hábitat, densidad poblacional, Sistemas de información Geográfica.

## **INTRODUCCIÓN**

El Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl se encuentra en la parte centro oriental de la Faja Volcánica Transmexicana, ocupando parte de la Sierra Nevada en su porción sur y de la Sierra de Rio Frío en su porción norte (Sánchez-Gonzalez, 2003). Abarca una superficie de 39,819 ha; e incluye la segunda y tercera cumbres más altas de México, que le dan nombre al Parque Nacional. En este parque habitan 467 especies de flora y fauna, de las cuales 23 son endémicas y 30 se encuentran bajo algún criterio de conservación en la norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), entre ellas se encuentra el teporingo o zacatuche (*Romerolagus diazi*), especie que constituye el emblema del parque (SEMARNATb, 2012).

El conejo zacatuche tiene una gran importancia ecológica, ya que en conjunto con conejos del género *Sylvilagus* representan las especies con mayor frecuencia de aparición y aporte de biomasa en la dieta del coyote (*Canis latrans*) y del lince rojo (*Lynx rufus*) en el Corredor Biológico Chichinautzin (Urióstegui-Velarde *et al*, 2015), además de ser presa de otros depredadores como comadrejas, águilas y serpientes (Velázquez y Guerrero, 2019)

La dieta de los lagomorfos incluye grandes cantidades de partes vegetativas y reproductivas de pastos, hierbas, arbustos y hasta árboles, lo cual trae como consecuencia un proceso de regulación de poblaciones de especies vegetales, tanto en el aspecto florístico como estructural; los zacatuches participan en la regulación de la densidad poblacional de la vegetación mientras dispersan las

semillas a través de la deposición de sus excretas, así como por el transporte que hacen al acarrearlas sobre su piel. Asimismo, las excretas de los zacatuches, denominadas píldoras simbióticas, dispersan esporas de hongos formadores de micorrizas y levaduras que estimulan el crecimiento de otros hongos y bacterias fijadoras de nitrógeno, los cuales favorecen el crecimiento vegetal (Granados *et al.*, 2004). Cuando las esporas maduran, atraen a su vez a animales como roedores (Cervantes y González, 1996).

El conejo zacatuche pertenece a un género y especie monotípicos y se le considera un relictos que comparte características primitivas con lagomorfos como *Pentalagus*, *Pronolagus*, *Ochotona*, todos en vía de extinción, y algunos taxa fósiles de la subfamilia Paleolaginae (Dawson, 1979). Su carácter primitivo se denota por sus características craneales, dentales, genéticas, relaciones parasitarias, tamaño corporal, medio de comunicación, estrategia reproductiva y rango de distribución. Es endémico por su historia biogeográfica, derivado de *Nekrolagus* y asociado a las liebres durante el Plioceno Tardío; su distribución geográfica restringida responde a procesos de expansión de frentes de enfriamiento y la subsecuente ocupación del área por géneros oportunistas y euriecos (especies capaces de sobrevivir ante grandes variaciones de un factor limitante) (Chapman y Flux, 1990), tiene un tamaño relativamente pequeño en comparación con los otros miembros de la familia Leporidae (Ferrari-Pérez, 1893), es el conejo silvestre más pequeño de México, el tamaño promedio del cuerpo del macho y la hembra es de 268.5 mm y 285 mm respectivamente, a pesar de las diferencias entre sexos la hembra no es significativamente más grande (Cervantes *et al.*, 1990), sus patas posteriores son

cortas, las orejas son pequeñas y redondeadas y la cola es tan pequeña que por fuera resulta invisible (Gaumer 1993), el pelaje es bastante corto y denso de color oscuro homogéneo, con la parte ventral un poco más clara mezclado con negro en el dorso y en las patas laterales (AMCELA, 2003), los segmentos apicales y basales de los pelos son negros con la parte media amarilla (Romero y Velazquez, 1994).

Se reproducen durante todo el año dependiendo de la disponibilidad de alimento, aunque es más frecuente durante el verano. Zambrano (2009) reportó que, a pesar de ligeras fluctuaciones en el índice de abundancia relativa total durante el año en el en el Área de protección de Flora y Fauna Corredor Biológico Chichinautzin, no existieron cambios marcados durante alguna época del año con abundancias casi constantes de organismos jóvenes, a excepción del invierno donde se observó una ligera disminución de éstos. La madurez sexual está en relación con el peso corporal que es alcanzado en un periodo de seis meses después del nacimiento, cuando llegan de los 450 a los 500 g (Matsuzaki, *et al.*, 1996). El periodo de gestación comprende de 38 a 41 días, después de los cuales nacen generalmente dos gazapos que poseen un pelaje rojizo fino, con los ojos cerrados, cola visible, las uñas y dientes bien desarrollados; son destetados entre los 21 y 28 días después de nacidos, ya que la hembra puede volver a quedar preñada (Cervantes y Martínez, 1996).

Esta especie se localiza en áreas que corresponden a los estados de Tlaxcala, Puebla, México, Morelos y Distrito Federal, abarcando las sierras de Chichinautzin, Ajusco y Sierra Nevada a una altura entre los 2900 y 4200 m s. n.

m., en bosques de pino-aile (*Pinus ssp.-Alnus ssp.*), pino-encino (*Pinus ssp.-Quercus ssp.*) en los páramos de altura entre zacatonales, siempre y cuando exista en el sotobosque una buena cobertura de éstos. Un estudio realizado en el volcán Iztaccíhuatl encontró que la especie tuvo preferencia por áreas que tenían baja ocurrencia de bosque cerrado, pastos altos, pastoreo de ganado, caza, terreno desnudo e inclinado (Velázquez y Guerrero 2019; Hunter y Cresswell, 2015). Habita en climas (Cw) semifríos, subhúmedos y húmedos con abundantes lluvias en verano, con una precipitación anual de 1500 mm y una temperatura anual de 9.6 °C (SEMARNAT, 2013).

El hábitat del zacatuche ha sido fragmentado a causa de actividades humanas como el pastoreo, incendios y tala, lo que podría ocasionar un proceso irreversible de extinción de esta especie (Romero y Velázquez, 1994) Se tiene el registro histórico de la distribución del teporingo en 16 zonas aisladas: cuatro zonas núcleo y 12 zonas periféricas más pequeñas (Ferrari-Peres, 1893) Las cuatro zonas núcleo se ubican en los volcanes Pelado, Tlaloc, Popocatepetl e Iztaccíhuatl y las restantes zonas, como su nombre lo indica, se encuentran en la periferia únicamente de los dos primeros volcanes mencionados (Velázquez *et al.*, 1996). Rizo-Aguilar *et al.* (2016), mostraron que el Corredor Biológico Chichinautzin también debe ser considerado como un área núcleo de distribución, siendo éste uno de los hábitats más importantes del zacatuche. Sin embargo, el volcán Tlaloc y el volcán Pelado no es un hábitat continuo, sino que las áreas de distribución del

núcleo conocidas están compuestas por fragmentos de hábitat adecuado de diferentes tamaños (Urióstegui *et al.*, 2018).

Debido a limitada distribución de la especie y ante el inminente peligro de extinción de ésta y la desaparición de muchas otras que cohabitan con ella, ha surgido la necesidad de conocer los hábitats que éstas ocupan. Partiendo de la premisa básica de la ecología como el estudio científico de las interrelaciones que regulan la distribución y abundancia de los organismos (Krebs, 1985) la cual contempla que, debido a características históricas, geofísicas, fisiológicas y ecológicas, la mayoría de las especies son más abundantes en unas áreas que en otras, la cual sugiere que existen ambientes o hábitats más favorables que otros para el desarrollo de las especies (Romero y Velázquez, 1994).

En la Sierra Ajusco-Chichinautzin, por medio de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) desde el 2008 se han desarrollado diversos proyectos como: distribución abundancia y densidad del zacatuche en la Sierra Ajusco-Chichinautzin, trabajos de etología, dieta, modelos de disponibilidad de hábitat y distribución y respuesta de sus poblaciones ante los incendios (Zambrano-Salgado 2009, Solorio-Damián 2013, Uriostegui-Velarde *et al.* 2015, Rizo-Aguilar *et al.* 2016, Brito-González 2017, Mancinez-Arellano 2017, Uriostegui-Velarde 2018). Otras instituciones en la Sierra Nevada de manera independiente se han hecho trabajos de distribución, densidad, uso de hábitat, dieta y efecto de los incendios 4 (Rangel-Cordero 2008, Martínez-García 2011, Hunter y Cresswell 2015). Sin embargo, dadas las características y amenazas que presenta la especie, es necesario

mantener los esfuerzos para conocer particularidades de sus poblaciones y lograr proponer estrategias viables para la conservación de la especie (Guerrero, 2018).

Respecto a la densidad poblacional con método de transecto en línea, Velázquez (1994) reporto una densidad de entre 0.781 ind/ha y 1.351 ind/ha en el Volcán Pelado, Rizo Aguilar (2016) reporto 6.22 ind/ha en el Corredor Biológico Chichinautzin y 1.22 ind/ha en el volcán Pelado; Brito-Gonzalez (2017), reporto 1.5 ind/ha en el Corredor Biológico Chichinautzin realizando estimaciones de la densidad usando el método de conteo de excretas, al igual que Guerrero (2018) dentro del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl donde estimo con este mismo método densidades poblacionales entre 9.7 ind/ha y 35.2 ind/ha.

En la abundancia, distribución y dinámica de una población influyen las características de la especie tales como la capacidad de dispersión, patrones de movimiento, especialización de hábitat, demografía, así como también las características del hábitat, como pueden ser calidad, tamaño, disponibilidad de alimento, agua y otros factores como son las condiciones ambientales y climáticas, y la competencia intra e interespecífica. (Van Dyke, 2008).

Por otro lado, en el ecosistema, el hábitat es el área que ofrece los recursos, condiciones físicas y arreglos estructurales que permiten que una especie o grupo de organismos encuentren las condiciones fundamentales para su población (Morrison, 2008; Mitchell, 2005). Un hábitat queda así descrito por los rasgos que lo definen ecológicamente, distinguiéndolo de otros hábitats en los que las mismas

especies no podrían encontrar acomodo. Una de las claves del conocimiento del hábitat es la identificación de los factores limitantes para la sobrevivencia, crecimiento y reproducción en un área específica.

El hábitat debe proveer las necesidades básicas para el desarrollo de la población; las interacciones entre el clima y la topografía dictan las temperaturas, precipitación, tipo de suelo; clases y cantidades de alimento y otros recursos que se encuentran a lo largo del año y que afectan al tipo de especies que pueden vivir allí. Por otro lado, los individuos de cada especie tienen rasgos adaptativos que les permiten sobrevivir y explotar recursos específicos en el hábitat, interactuando con otras especies mediante competencia, depredación y acciones mutuamente benéficas que determinaran el patrón global de los tamaños de las poblaciones, lo que refleja la historia de los cambios en la población, llegadas y desapariciones, así como los disturbios físicos del hábitat (Fullbright y Ortega, 2007).

Considerando una pequeña población en la que los individuos están dispersos dentro del hábitat y conforme esta población aumenta su tamaño, cada vez más individuos deben competir y compartir los nutrientes, espacios y otros recursos. A medida que los recursos disponibles para cada individuo disminuyen, nacen menos y pueden morir más; las variaciones aleatorias en el ambiente, como las variaciones anuales en el clima (temperatura y precipitación) o el suceso de catástrofes naturales como incendios, inundaciones y sequías, pueden influir directamente en las tasas de natalidad y mortalidad en la población. Al final, el suministro sustentable del recurso será factor clave que determine el tamaño de la

población. Una escasez severa de recursos, causada ya sea por extremos ambientales (como los mencionados anteriormente) o por la sobreexplotación, podría provocar una reducción grave de la población y una posible extinción, si la base de los recursos no se recuperará a tiempo a los efectos de permitir una adecuada reproducción de los supervivientes (Starr y Taggart, 2004, Smith y Smith, 2007).

Las características del hábitat tienen influencia importante sobre los organismos, en donde la estructura y la composición florística de la vegetación pueden determinar, la distribución y abundancia del alimento, la disponibilidad de cobertura contra depredadores y de sitios para resguardarse. La distribución de los animales responde a los patrones del paisaje que les rodea; por tanto, una forma de describir el hábitat es evaluando las unidades de paisaje, su estructura, composición y el subconjunto de elementos físicos que lo integran, ya que los organismos responden a su entorno en múltiples escalas espaciales y temporales, y organismos diferentes responden de manera diferente al mismo ambiente (Delfín-Alfonso *et al.*, 2013).

Las evaluaciones del hábitat y su importancia se basan en la presunción de que las preferencias y, por tanto, la selección, están vinculados a la aptitud de las especies (supervivencia y reproducción) que puede deducirse de las pautas observadas de uso. Por su parte, la preferencia de hábitat se entiende como una consecuencia de la selección de recursos por parte de cada individuo de la población, de forma no aleatoria, entre los hábitats potenciales (Krausman, 1999;

Morris, 2003). Underwood *et al.* (2004) definieron la preferencia de hábitat cómo la diferencia entre la proporción relativa de todos los recursos usados y la disponibilidad de éstos, lo que ha generado que al evaluar la selección por uno o varios recursos (preferencia de hábitat) se extrapolen los resultados para determinar el hábitat de una especie.

A diferencia de la preferencia del hábitat, el uso de éste es la forma en que un organismo aprovecha todos los componentes físicos y biológicos, sin implicar necesariamente que exista una selección de éste, ya que selección es un proceso jerárquico que involucra una variedad de decisiones innatas (genéticas) y aprendidas por parte de cada organismo que resultan en el uso desproporcionado de unos recursos sobre otros, y por ende de aquellos hábitats que los contengan (Montenegro y Acosta, 2008). Las diversas actividades de un animal requieren componentes ambientales que pueden variar según la temporada o anualmente. Una especie puede usar un hábitat en verano y otro en invierno. Este mismo hábitat puede ser utilizado por otra especie en orden inverso (Krausman, 1999).

Según Hall *et al.* (1997) para que un hábitat sea seleccionado, éste debe estar disponible para la especie, es decir, que el hábitat y los recursos a ser usados no posean factores físicos, biológicos y químicos limitantes. La disponibilidad de hábitat es difícil de determinar si consideramos que estos factores varían en espacio y tiempo (estocasticidad, heterogeneidad espacial), al igual que lo hacen los requerimientos de un organismo a lo largo de las etapas de su ciclo de vida, sumado a que la ausencia de organismos en un hábitat no necesariamente implica que éste

no esté disponible (Delfín-Alonso *et al*, 2013). Adicionalmente la selección de un hábitat también depende de su calidad, que usualmente es inferida a partir de parámetros poblacionales, ya que se asume que hay una relación lineal entre estos parámetros y la calidad del hábitat (Montenegro *et al.*, 2017).

El conocimiento del hábitat es importante para tener una mejor comprensión sobre los requerimientos ecológicos necesarios para satisfacer las necesidades biológicas de las especies. El conocimiento de los factores ambientales que regulan las poblaciones es elemental a la hora de proponer medidas de conservación, esta caracterización se hace en dos niveles de análisis: uno extensivo que identifica factores ambientales generales, como el porcentaje de cobertura vegetal (macrohábitat) y otro intensivo (microhábitat) que se basa en la estructura específica de la vegetación que proporciona condiciones favorables para una determinada especie, considerando su predominancia en el área mediante un muestreo estratificado (Block y Brenna 1993).

Los patrones ecológicos, entendidos como un conjunto de unidades discretas: comunidades de organismos y su entorno abiótico, que no solo exploran la distribución geográfica de la diversidad si no su presencia o ausencia en el espacio y en función del tipo de organismo (Toledo, 1994) y los procesos que los producen son dependientes de la escala espacial y temporal sobre la cual son observados. Sin embargo, no se puede decir que un proceso esté restringido a una escala particular, sino que existen escalas de tiempo y espacio, en las cuales un proceso resulta relevante o prevalece sobre otros (Ruiz, 2016). Al conocer la

preferencia de hábitat y los cambios espacio temporales de la distribución del teporingo, nos permitirán desarrollar programas de manejo que se reflejen en la conservación y mantenimiento de su entorno, para detener y de ser posible, revertir los procesos de extinción de la especie.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Determinar las variables que determinan la densidad poblacional y la distribución actual del conejo zacatucho (*Romerolagus diazi*) en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl.

### **Objetivos particulares**

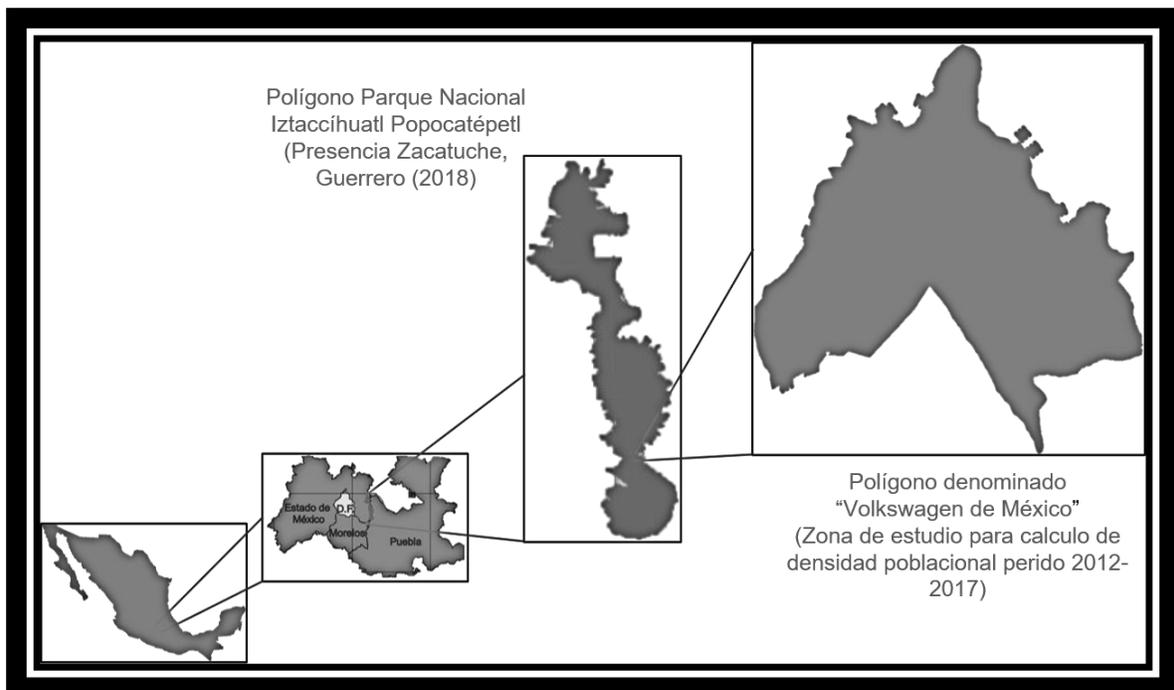
- Analizar la tendencia poblacional de la especie a partir de los datos obtenidos del año 2012 al 2017 en la zona centro del PNIP.
- Describir y caracterizar el hábitat del conejo zacatucho (*Romerolagus diazi*) en el PNIP
- Analizar la selección de hábitat del zacatucho dentro del PNIP.

## **MÉTODO**

### **Zona de estudio**

El 8 de noviembre de 1935, mediante Decreto Presidencial, se declaró Parque Nacional a las montañas denominadas Iztaccíhuatl y Popocatepetl. Cuenta con una superficie de 39,819 ha dividida entre los estados de México, con 28,307.49 ha (71.09%); Puebla con 11,072.92 ha (27.81%); y Morelos con 438.68 ha (1.10 %) (SEMARNAT, 2013).

Se encuentra en la parte centro-oriental de la Faja Volcánica Transversal, ocupando una parte sustancial de la Sierra Nevada (Fig. 1)



*Figura 1 Localización del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl, y del polígono denominado "Volkswagen de México" dentro del Parque Nacional*

De acuerdo con sus características, el parque cuenta con una zonificación en base a su grado de conservación, representatividad del ecosistema, vocación natural del terreno, uso de suelo, hidrología, curvas de nivel y tipos de vegetación; definiendo tres subzonas: I) Preservación, II) Uso Público y III), Recuperación (SEMARNTb, 2013)

### ***Sitios de muestreo***

En el año 2008 se estableció un subpolígono denominado “Programa Volkswagen” con actividades de restauración, protección y conservación de los recursos naturales ocupando en su totalidad 750 ha de las 3,672.54 que se encuentra dentro de la subzona de recuperación llamada Polígono 3, Caracol Ayoloco, en su porción Noreste (SEMARNAT, 2013b). En este subpolígono se realizó a partir de 2012 el monitoreo de zacatuche mediante el conteo de letrinas y excretas para el cálculo de densidad poblacional. Se establecieron ocho sitios de conteo de letrinas en zonas donde se observó una mayor presencia de excretas de teporingo. En cada sitio, se establecieron cuadrantes de una hectárea, en cada cuadrante se marcaron tres transectos de 100 m de largo con una separación de 50 m entre sí, y con puntos de conteo de letrinas (parcelas) de un 1m<sup>2</sup> cada 25 m, para un total de 5 parcelas por transecto, en total se establecieron 360 parcelas (Fig.2).

## Sitios de conteo por cuadrante

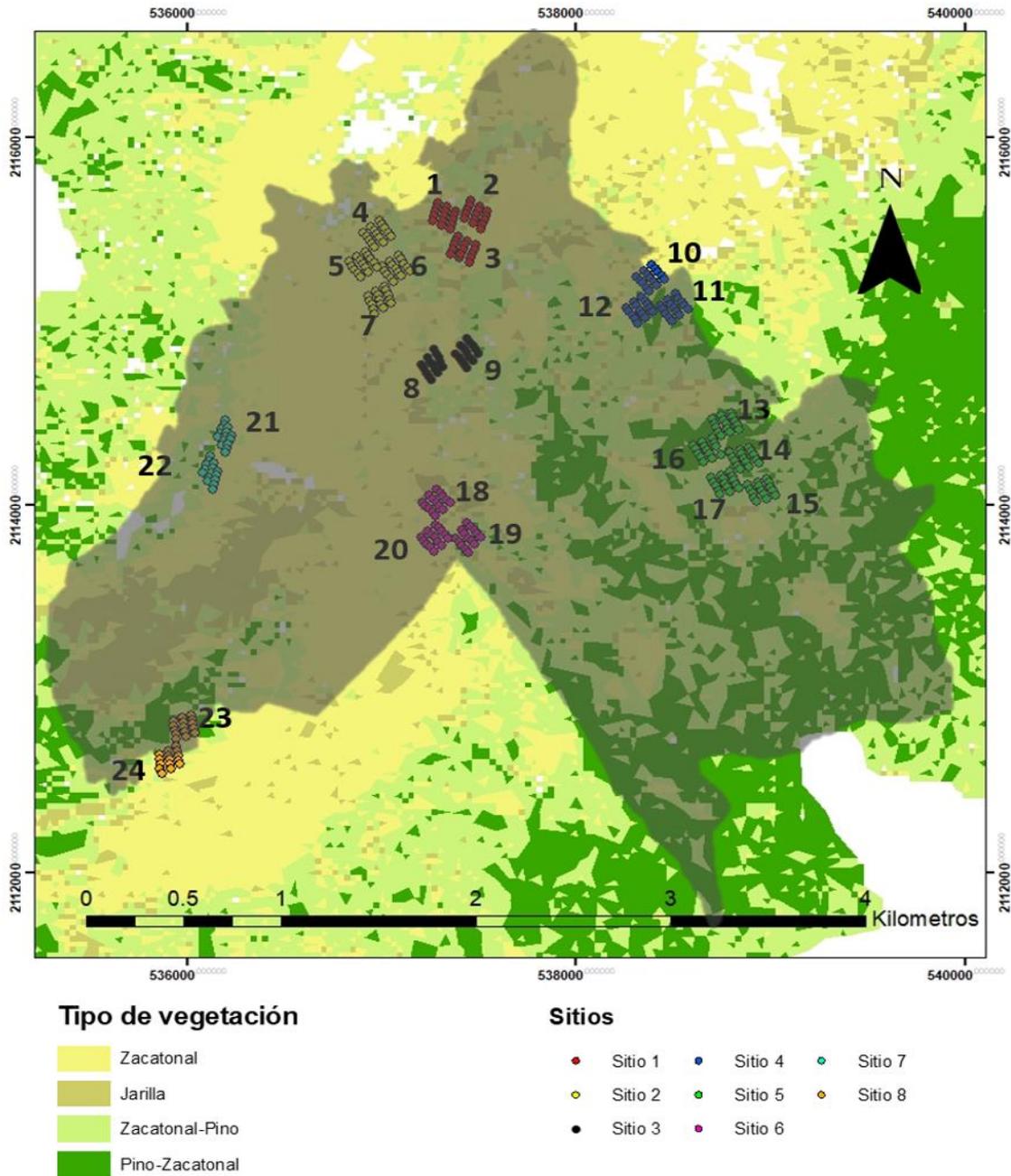


Figura 2 Ubicación de los sitios de conteo. Dentro del mapa se enumera cada cuadrante con sus respectivos transectos y parcelas de conteo de excretas en el polígono denominado "Volkswagen de México" (zona sombreada)

Sitio 1	Cuadrante	Descripción
1	1-3	Se encuentra a una altitud promedio de 4000 m s. n. m., con una pendiente promedio de 23° orientada al sur. Cobertura de zacatonal del 70%, de hasta 90 cm de alto. Cobertura aérea del 50%, árboles de hasta 20 m de alto
2	4-7	Altitud promedio 4037 m s. n. m., pendiente de 15° orientada al Sureste. Cobertura de zacatonal del 85%, con una altura de hasta 120 cm.
3	8-9	Altitud promedio 3896 m s. n. m., pendiente de 9° orientada al sureste. Cobertura de zacatonal del 85% con reforestaciones y apertura de tinas ciegas durante el año 2008 al 2010.
4	10-12	Altitud promedio 3928 m s. n. m., pendiente 16° orientada al sur. Cobertura de zacatonal de 80% de hasta 120 cm de alto, cobertura aérea de 50%, arbolado de hasta 25 m de alto.
5	13-17	Altitud promedio 3782 m s. n. m., pendiente 16° orientada al sur, cobertura de zacatón menor al 50% de hasta 70 cm de alto, cobertura aérea de 75%, arbolado de hasta 25 m alto.
6	18-20	Altitud promedio 3869 m s. n. m., pendiente 16° orientada al suroeste, cobertura de zacatonal del 80% de hasta 150 cm de alto, cobertura aérea del 50% y árboles de no más de 15 m de alto.
7	21-22	Altitud promedio 3918 m s. n. m., pendiente 24° orientada al sur, cobertura de zacatonal del 90%, sin cobertura arbórea.
8	23-24	Altitud promedio 3760 m s. n. m., pendiente 17° orientada al sureste. Cobertura de zacatonal del 80% altura de hasta 150 cm alto, cobertura arbórea del 70%, árboles de hasta 25 m alto

### **Análisis de densidad**

El conteo de excretas se realizó mensualmente a partir de enero de 2012 hasta diciembre de 2017. Las excretas fueron contadas en cada parcela y desechadas en el mismo sitio para no volverlas a contar en el mes siguiente; el centro de la parcela fue marcado con un abatelenguas para realizar el conteo mensualmente. Con la información obtenida se construyó una base de datos trimestral para estimar la densidad poblacional y su variación durante este periodo. Estos datos se obtuvieron con base al método de conteo de excretas propuesta por Aranda (2000), el cual consiste en trazar una serie de transectos a lo largo de los cuales se cuenta la acumulación de excrementos en parcelas previamente establecidas en cada transecto. De esta manera se puede medir la acumulación de excrementos en relación con una unidad de área y por un periodo conocido de tiempo. Este método es el recomendado en el Programa de Manejo Tipo para el conejo zacatuche y en el Manual de monitoreo comunitario del conejo zacatuche (*Romerolagus diazi*) (García-Feria *et al.*, 2018), en el que:  $Animales/ha = n/AxB$ , en donde  $n$  es el número de excrementos acumulados en las parcelas, extrapolado a una hectárea,  $A$  es la tasa de defecación diaria y  $B$  es el número de días de acumulación (30 días), considerando la tasa de defecación calculada por Martínez-García (2011), de  $253.46 \pm 7.04$ , pellets. De acuerdo con los resultados de Brito-González (2017), no se consideró la tasa de pérdida de excretas, ya que la persistencia reportada de éstas fue de 0.9814, con un rango de 0.9627 a 1.

Posteriormente se realizó un análisis de Kruskal-Wallis en el programa RStudio para comprobar las diferencias de densidades entre los sitios y periodos trimestrales.

### ***Tasa de crecimiento poblacional***

Para conocer la dinámica de la población se analizó la tasa finita de crecimiento poblacional ( $\lambda$ )

$$\lambda = \frac{N_t}{N_o}$$

Donde:

**$N_t$**  es la densidad de la población en el año  $t+1$ , y  **$N_o$**  es la densidad del año anterior.

Bajo este esquema se asume que la población crece cuando el valor de lambda es mayor a 1 y disminuye cuando es menor a 1.

### ***Relación de la densidad con factores ambientales***

Se realizó un análisis de regresión lineal múltiple, para determinar la relación que existe entre densidad poblacional del zacatuche con la temperatura y la humedad por periodos trimestrales a partir del segundo trimestre de 2013, ya que no se contó con información anterior, y hasta 2017. Un segundo análisis consideró la densidad como variable dependiente de la temperatura del año inmediato anterior.

Considerando a la precipitación y la temperatura trimestral como variable independiente y la densidad del trimestre posterior como variable dependiente, y debido a que las poblaciones no responden de manera inmediata a los cambios

ambientales (Hernández et al, 2011; Brito y Guerrero, 2017), se realizó un análisis de ANOVA para comprobar las diferencias entre las densidades por año.

Los datos de temperatura y humedad fueron obtenidos de la estación meteorológica de Alzomoni, de la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos (RUOA,2019).

### ***Análisis de hábitat***

Para describir y caracterizar el hábitat del zacatuche se siguió la metodología propuesta por Urióstegui-Velarde *et al.* (2018) que consiste en dos etapas: 1) Clasificación de uso de suelo y cobertura vegetal: para el uso de suelo y vegetación se utilizó una imagen satelital SENTINEL 2 del año 2018 con una resolución de 10 metros.

Se realizó una reclasificación semisupervisada de vegetación de la poligonal del PNIP mediante la herramienta *Maximum Likelihood Classification*. Para la reclasificación de la vegetación se utilizaron 50 puntos por cada tipo de vegetación, resultando seis clases para la poligonal del parque:

- 1) Sin vegetación: Sitios sin ningún tipo de cobertura vegetal aparente, incluye carreteras, caminos, brechas y arenales, así como los glaciares de las partes altas de las montañas.
- 2) Pino-Oyamel: Asociación principalmente de *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa*, principalmente en la zona norte del ANP, por debajo de los 3,600 m s. n. m., con zacatonal presente, pero con cobertura menor al 40% y alturas no mayores a los 80 cm.

- 3) Pino-Zacatonal: Bosque dominado por *Pinus hartwegii*, por encima de los 3,600 m s. n. m., asociado con zacatonales con alturas no mayores a 80 cm.
- 4) Zacatonal-Pino: Por encima de los 3,600 m s. n. m., dominado por pastos amacollados, con cobertura mayor al 60% y alturas mayores a 80 cm y cobertura arbórea (*Pinus hartwegii*), menor al 40%.
- 5) Zacatonal: vegetación dominada por pastos amacollados con coberturas mayores al 80% y alturas de hasta 150 cm,
- 6) Jarilla: Vegetación dominada por arbustos de hasta 4 m de altura del género *Senecio*, en estos sitios el zacatonal tiene una cobertura de entre 40 y 60%, con alturas de hasta 150 cm.

Se usó el Modelo de Elevación Digital (DEM) para obtener los valores reclasificados del 0 al 1 de la pendiente, orientación (aspecto) y de las curvas de nivel de acuerdo con los registros de presencia de la especie (Velázquez y Heil, 1993; Hunter y Cresswell 2015; Rizo-Aguilar *et al.*, 2015). Posteriormente a cada capa se le asignó un valor de importancia relativa mediante un Proceso Analítico Jerárquico (AHP por sus siglas en inglés), para finalmente mediante la herramienta *Raster Calculator* generar el mapa de hábitat adecuado (HSI por sus siglas en inglés).

Se tomaron los datos de los recorridos realizados dentro del PNPI para el estudio de Proyecto de monitoreo de fauna en el Parque Nacional Iztaccíhuatl, Popocatepetl, Zoquiapan (Guerrero, 2018), durante los cuales se registraron todas las observaciones directas del zacatucho y se llevaron a cabo búsquedas exhaustivas de rastros de la especie, cada 500 metros. Se tomaron coordenadas

geográficas, considerando detección de la especie cuando se observaban rastros de la misma, principalmente excretas.

Para la delimitación del hábitat los datos de los registros sobre la presencia del zacatuche fueron asociados al mapa generado de HSI y los parámetros obtenidos se proyectaron utilizando el programa ArcMap.

Se realizó el análisis de correlación entre las variables pendiente, orientación y altitud, y posteriormente se realizó el análisis de la densidad como variable de respuesta y el tipo de vegetación, orientación, pendiente y altitud como variables explicativas mediante un Modelo Lineal Generalizado (GLM) Mixto, en el que la vegetación se incluyó como un factor. Estos análisis se realizaron con el programa RStudio

### ***Disponibilidad y selección de hábitat***

Se calculó la superficie ocupada en hectáreas por cada tipo de uso de suelo y vegetación con base en el mapa generado de reclasificación. Para ello se convirtió el mapa raster a mapa de polígonos con la herramienta *Raster to polygon*, una vez definidos los polígonos de los tipos de vegetación con la herramienta *add field*, de los atributos de la tabla, agregamos el campo “áreas y hectáreas”, y con la herramienta *calculate geometry*; finalmente se realizó la sumatoria de las áreas de cada tipo de vegetación. Posteriormente, los datos de presencia de la especie se clasificaron de acuerdo con el tipo de vegetación donde se registraron para realizar el análisis de Uso/Disponibilidad que relaciona el tipo de vegetación y el número de registros de cada especie dentro de las mismas. Para ello se usó la herramienta

*Extraction values to point*, que permitió extraer la información del tipo de vegetación del raster reclasificado a partir de la capa de puntos de presencia.

Se realizó una prueba de  $\chi^2$  y posteriormente una construcción de los intervalos de confianza de Bonferroni para determinar las tendencias del patrón de utilización en términos de selección o rechazo en los seis tipos de vegetación y uso de suelo definidos para este estudio (Builes, 2005).

## **RESULTADOS**

### ***Densidad poblacional***

Los resultados del análisis de Kruskal-Wallis mostraron que existe una diferencia significativa entre las densidades entre los cuadrantes con un valor de  $p < 0.0001$ , pero no entre los periodos trimestrales. En el sitio 5, del segundo al tercer trimestre del 2015, se observa una disminución de 3.6 ind/ha a 1.5 ind/ha, pero que para el cuarto trimestre del mismo año vuelve a aumentar a 2.8 ind/ha; el sitio 6 es el que presenta más oscilaciones entre los periodos de conteo, sin embargo, las densidades se mantienen entre 11.8 y 8.86 ind/ha (Fig. 3).

Los cuadrantes 8 y 9 que corresponden al sitio tres, presentaron mayores densidades poblacionales con un promedio de 17.59 ind/ ha ( $\pm 1.17$  desviación estándar) y 29.29 ind/ha ( $\pm 1.35$  desviación estándar), respectivamente. En este sitio, durante el año 2009 se realizó la apertura de tinas ciegas como parte de los trabajos de restauración en la zona, a una distancia de dos metros entre cada una de ellas, además se realizaron reforestaciones a tresbolillo desde el año 2008 hasta

2012 (anualmente se “reponían” los árboles que no habían tenido éxito en su establecimiento).

Los sitios 3, 5 y 1 fueron los sitios que mayor variación tuvieron a lo largo de este estudio (Fig. 4). A pesar de que no se observa una clara disminución en la densidad poblacional por sitio, se observa una tendencia negativa en la densidad poblacional en la zona (Fig. 5).

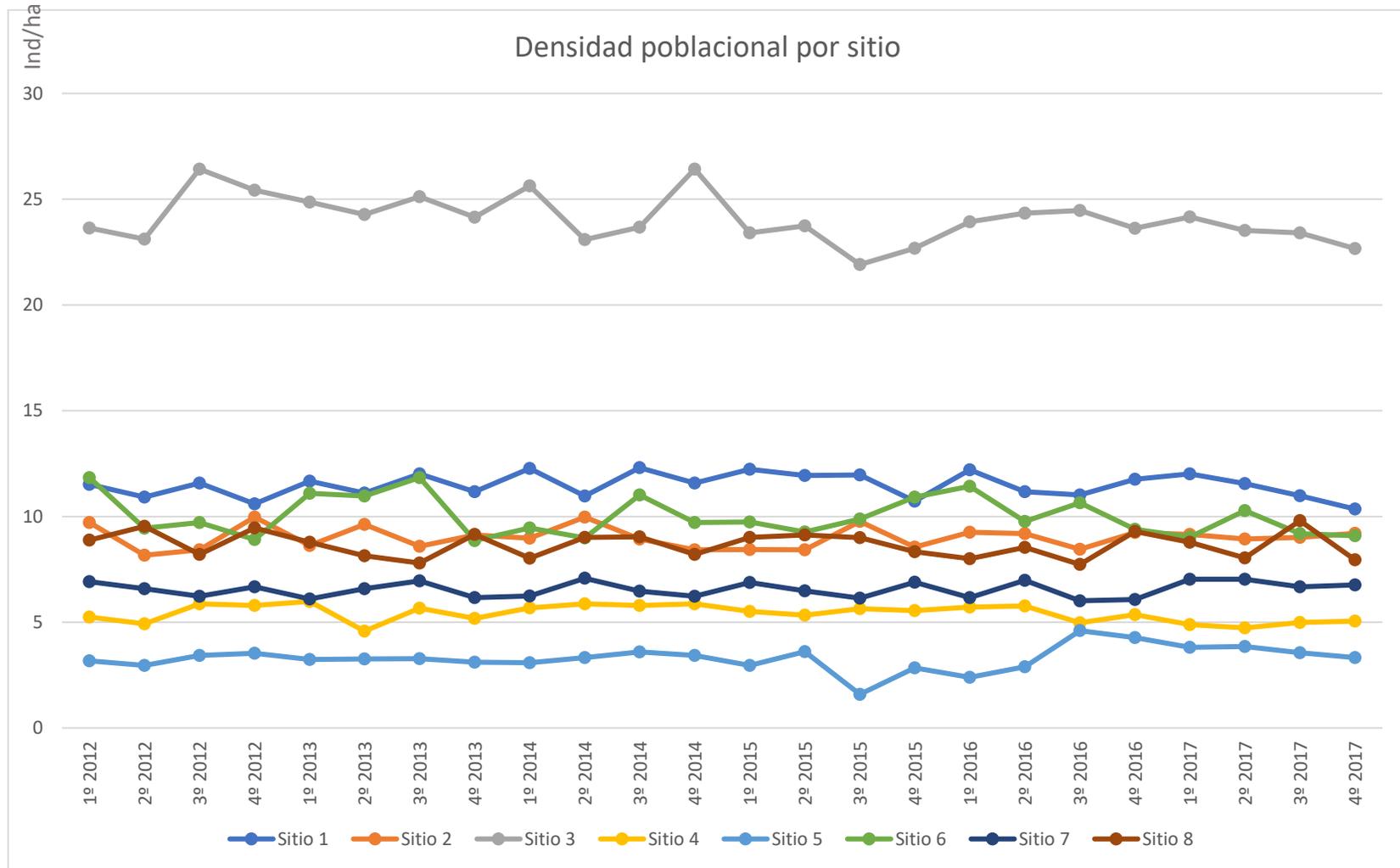
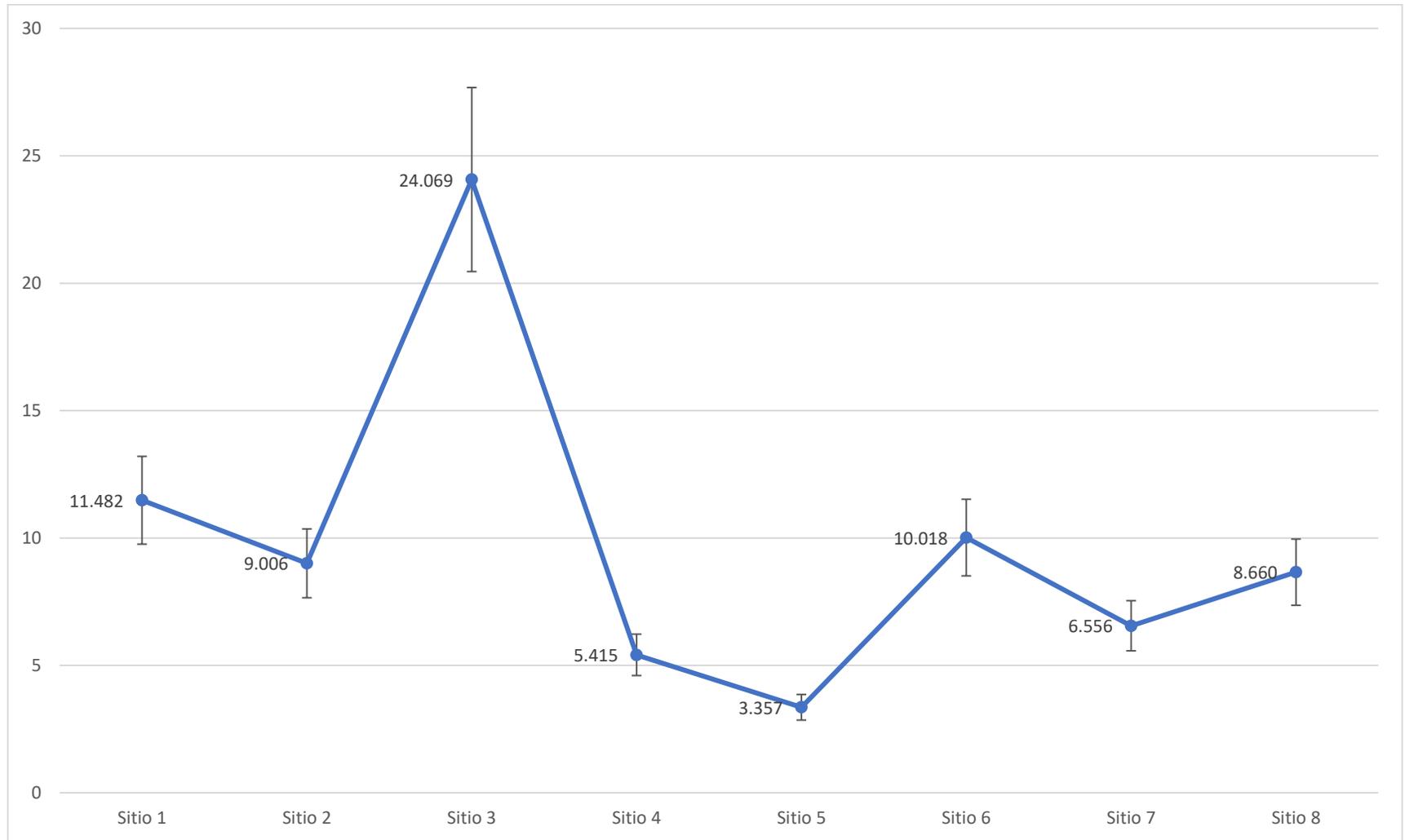
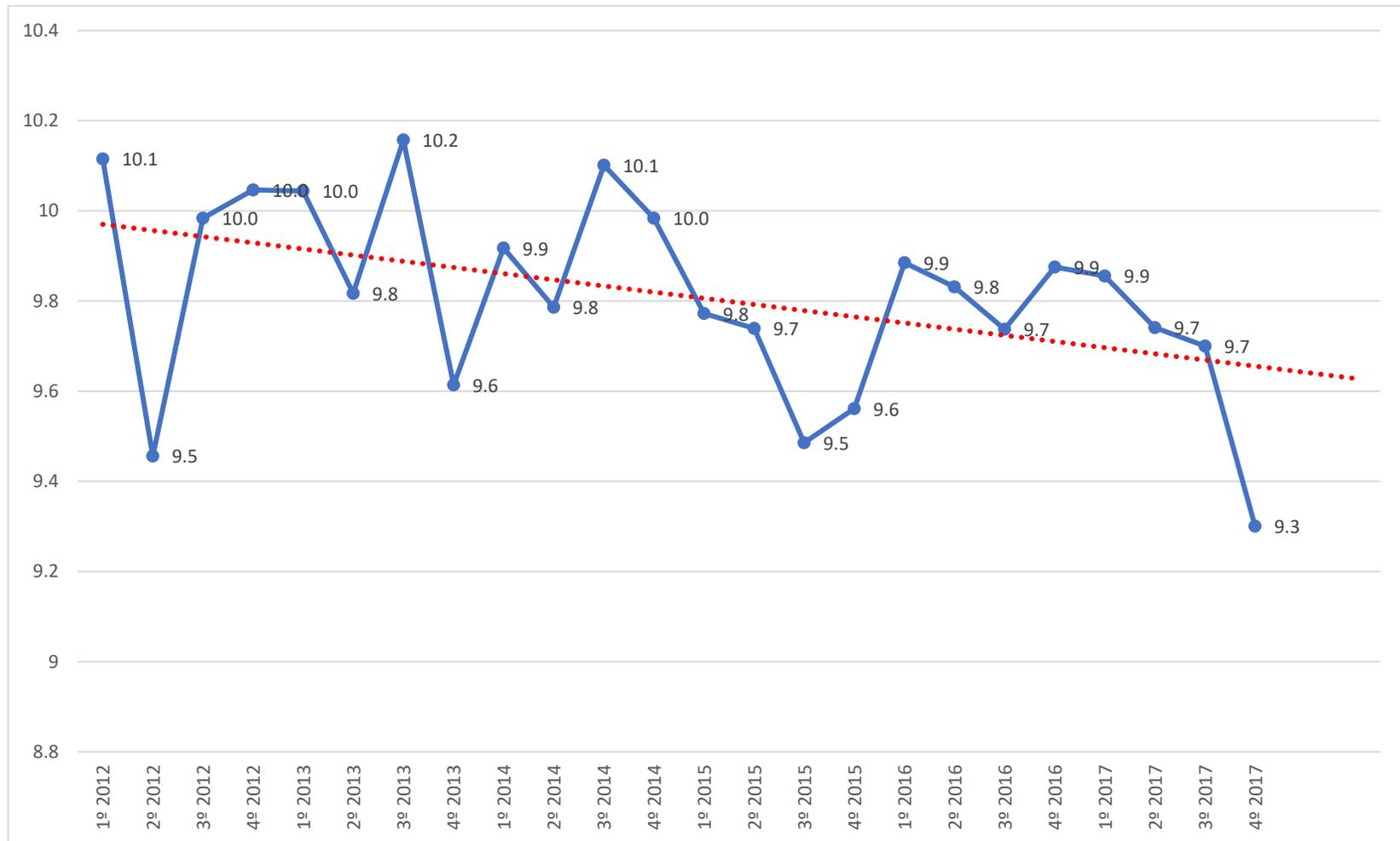


Figura 3 Densidades poblacionales trimestrales por sitio durante el periodo 2012-2017



*Figura 4 Densidad poblacional promedio de los años de muestreo (2012-2017) por sitio, mostrando las diferencias entre las densidades poblacionales por sitio*



*Figura 5 Variación poblacional promedio del teporingo de 2012-2017 en periodos trimestrales. Se observa la tendencia negativa de crecimiento*

### ***Tasa de crecimiento poblacional***

El análisis de tasa finita de crecimiento se realizó por año, promediando las densidades por sitio, de los cuatro trimestres por año (Fig.6). En los sitios 1 y 6 el valor de  $\lambda$  ha disminuido, en los sitios 3,4 y 5 la tendencia se mantuvo constante, sin embargo, en los sitios 2 y 5 del 2014 al 2015 se observó una disminución del valor de  $\lambda$  que se recuperó en el siguiente período, mientras que el sitio 7 y 8 presentan un valor de  $\lambda$  mayor a uno, indicando el crecimiento de la densidad poblacional.

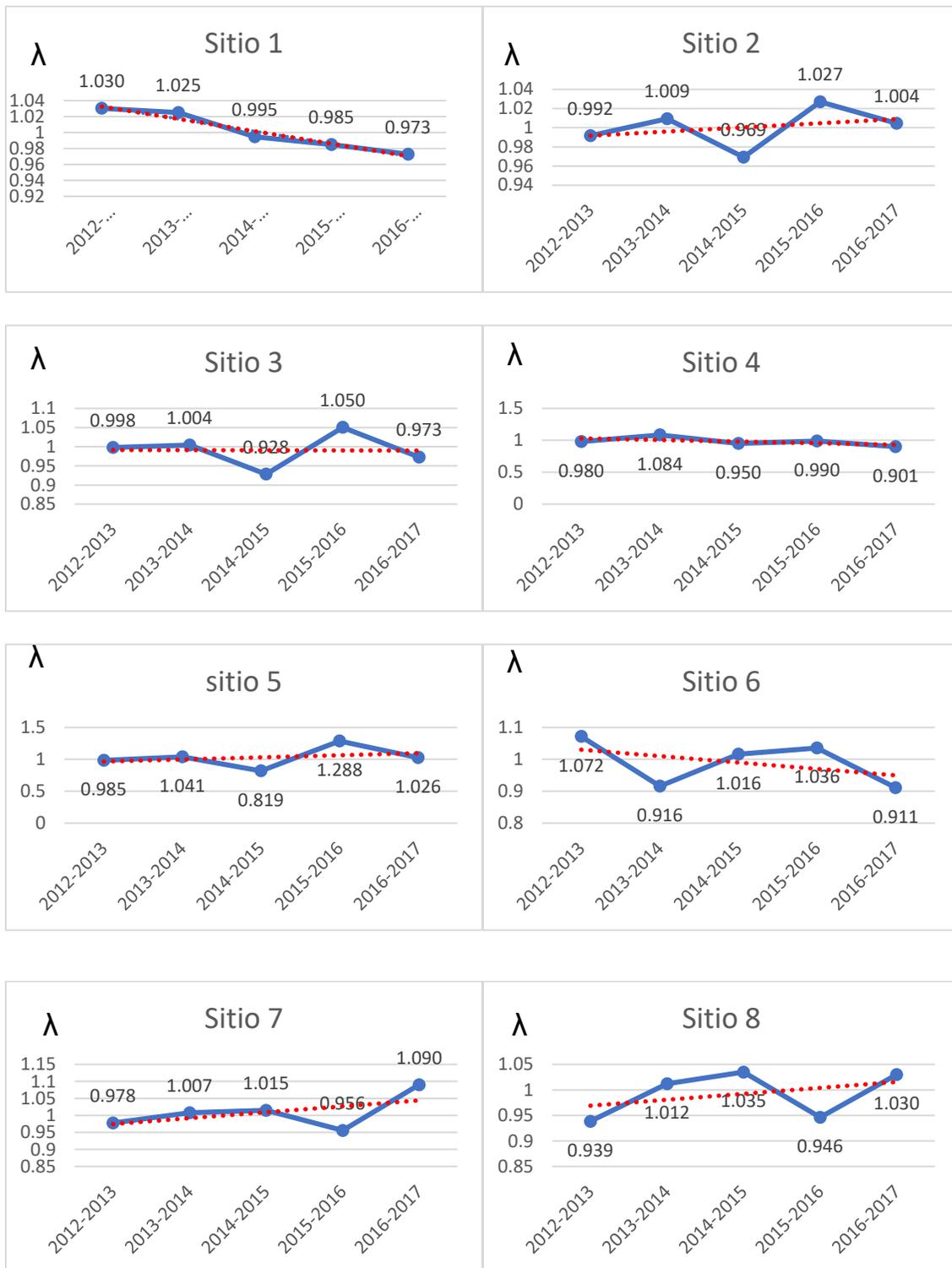


Figura 6 Tasa finita de crecimiento por sitio, por periodos anuales de 2012 a 2017.

### ***Relación de la densidad con factores ambientales.***

El análisis de regresión lineal mostró que no existió relación entre la densidad poblacional trimestral y la temperatura y humedad ( $P=0.48$ ) del segundo trimestre de 2013 al tercer trimestre del 2017. El análisis tampoco mostró una relación significativa entre la densidad poblacional anual y la precipitación y humedad relativa anual ( $P=0.09$ ).

El resultado del análisis de ANOVA no mostró efectos significativos de la temperatura anual ( $P=0.07$ ) ni de la humedad anual ( $P=0.11$ ) sobre los valores de densidad poblacional anuales.

### ***Análisis de hábitat***

Se generaron cuatro mapas reclasificados (Fig. 7): I.- uso de suelo y vegetación (A), II.- Altitud (B), III.- Pendiente (C) y IV.- Orientación (D). El mapa de reclasificación de altitud se realizó, reasignando los valores de altitud en una escala de 0-10, donde 0 es el valor con menos registros de la especie y 10 el rango más frecuente de observación de teporingo (Tabla 1).

*Tabla 1.- Valores reclasificados de altitud*

<b>Valor original de altitud (m s. n. m.)</b>	<b>Valor reclasificado</b>	<b>Valor original de altitud (m s. n. m.)</b>	<b>Valor reclasificado</b>
3000	0	3400-3550	7
3100	1	3600-3650	9
3150	2	3700-3800	10
3200	3	3850-3900	8
3250	4	3950-4000	7
3300	5	4050-4150	4
3350	6	>4200	0

La reclasificación de la pendiente (Tabla 2) y orientación (Tabla 3) se realizó bajo el mismo criterio de asignación de valores de 0-10, donde 0 es el valor menos observado en el registro de la especie y 10 el valor con mayores registros.

*Tabla 2.- Valores reclasificados de pendiente*

<b>Valor de pendiente original (°)</b>	<b>Valor reclasificado</b>	<b>Valor de pendiente original (°)</b>	<b>Valor reclasificado</b>
0-5	8	26-30	8
6-10	9	31-35	7
11-21	10	36-45	2
21-25	9		

*Tabla 3.- Valores reclasificados de orientación*

<b>O original</b>	<b>O reclasificación</b>	<b>O original</b>	<b>O reclasificación</b>
N	4	S	7
NE	4	SO	10
E	0	O	10
SE	0	NO	7

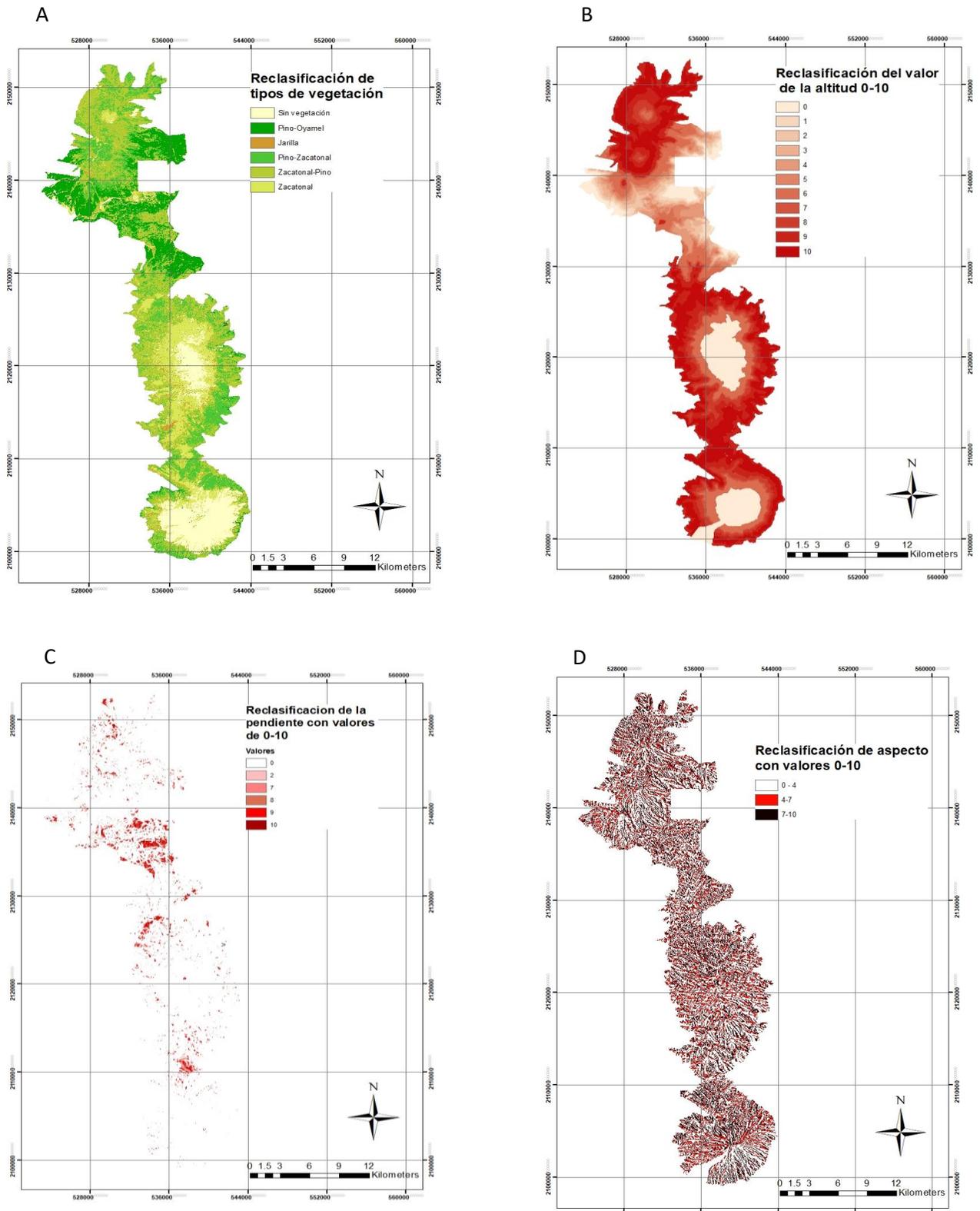


Figura 7 Mapa reclasificados: Uso de suelo y vegetación (A), Altitud (B), Pendiente (C), Orientación (D).

El análisis de correlación entre las variables utilizadas (Pendiente, orientación y altitud) no mostró relaciones significativas entre ellas (Fig. 8).

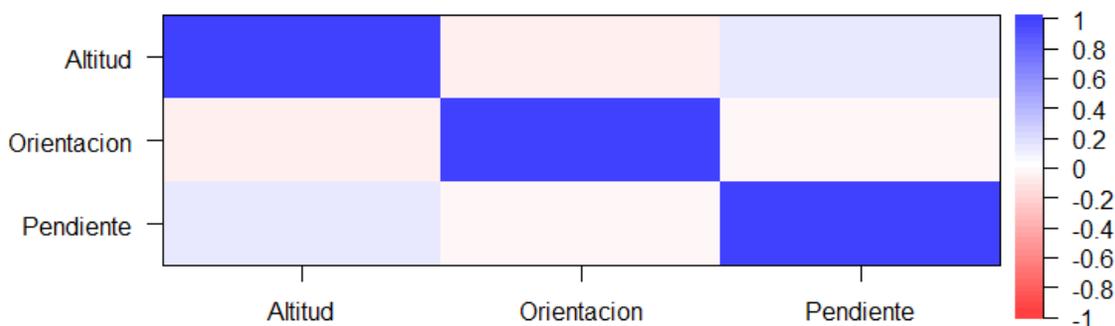


Figura 8 Diagrama de correlación de variables.

Una vez descartada la correlación entre variables se realizó el análisis del número de letrinas como variable de respuesta y el tipo de vegetación, orientación, pendiente y altitud como variables explicativas; mediante un modelo Lineal Generalizado (GLM) Mixto.

Tabla 4.- Modelos generalizados mixtos ajustados mediante una función gamma. Con el valor AIC resultante para cada uno.

MODELO	VARIABLES	AIC
1 (saturado)	Letrinas~Altitud+Pendiente+Orientación*Vegetación	4893.015
2	Letrinas~Altitud+Pendiente *Vegetación	<b>4889.334</b>
3	Letrinas~Altitud+Orientacion *Vegetación	4897.446
4	Letrinas~Altitud *Vegetación	4892.558
5	Letrinas~Orientación*Vegetación	4898.168
6	Letrinas~ Pendiente *Vegetación	4894.1

7	Letrinas~ Altitud	4901.989
8	Letrinas~ Orientación	4912.990
9	Letrinas~ Vegetación	4892.795
10	Letrinas~ Pendiente	4911.7
11	Letrinas~ Orientación+Pendiente*Vegetación	4893.7

El modelo más parsimonioso excluye a la orientación como una variable significativa con AIC de 4889.

```
m2<-glm(bd$Letrinas+ 0.001 ~ bd$Pendiente, family = Gamma (link = "log"))
```

- Modelo2 <- glm (Promedio+ 0.001 ~ Altitud+Pendiente\*Veg, family = Gamma (link = "log")).

*Tabla 5.- Coeficientes del modelo glm (Promedio+ 0.001 ~ Altitud+Pendiente\*Veg, family = Gamma (link = "log")).*

	Estimación	Error estándar	Valor t	Pr(> t )
Intercepto	0.1920520	1.6545712	0.116	0.907661
Altitud	0.0016133	0.0004142	3.895	0.000118 **
Pendiente	-0.0187122	0.0188951	-0.990	0.322704
VegPinoZac	-1.4554410	0.4845191	-3.004	0.002858**
VegSinVeg	1.3078317	3.1924416	0.410	0.682303
VegZacatonal	-0.1162345	0.4323308	-0.269	0.788200
VegZacPino	-0.4440248	0.4399118	-1.009	0.313506
Pendiente:VegPinoZac	0.0304931	0.0236172	1.291	0.197510

Pendiente:VegSinVeg	-0.0614466	0.1360267	-0.452	0.651748
Pendiente:VegZacatonal	-0.0170099	0.0205727	-0.827	0.408906
Pendiente:VegZacPino	0.0092690	0.0205676	0.451	0.652513

Una vez descartada la orientación como variable predictiva, los valores de importancia relativa fueron: 0.65820616, 0.28066084 y 0.061133 para uso de suelo y vegetación, altitud y pendiente respectivamente.

Las capas se multiplicaron por su valor de importancia y combinadas para generar el mapa de HSI y posteriormente se sobrepuso la capa con los registros de presencia obtenidos por Guerrero et al (2018) (Fig.9)

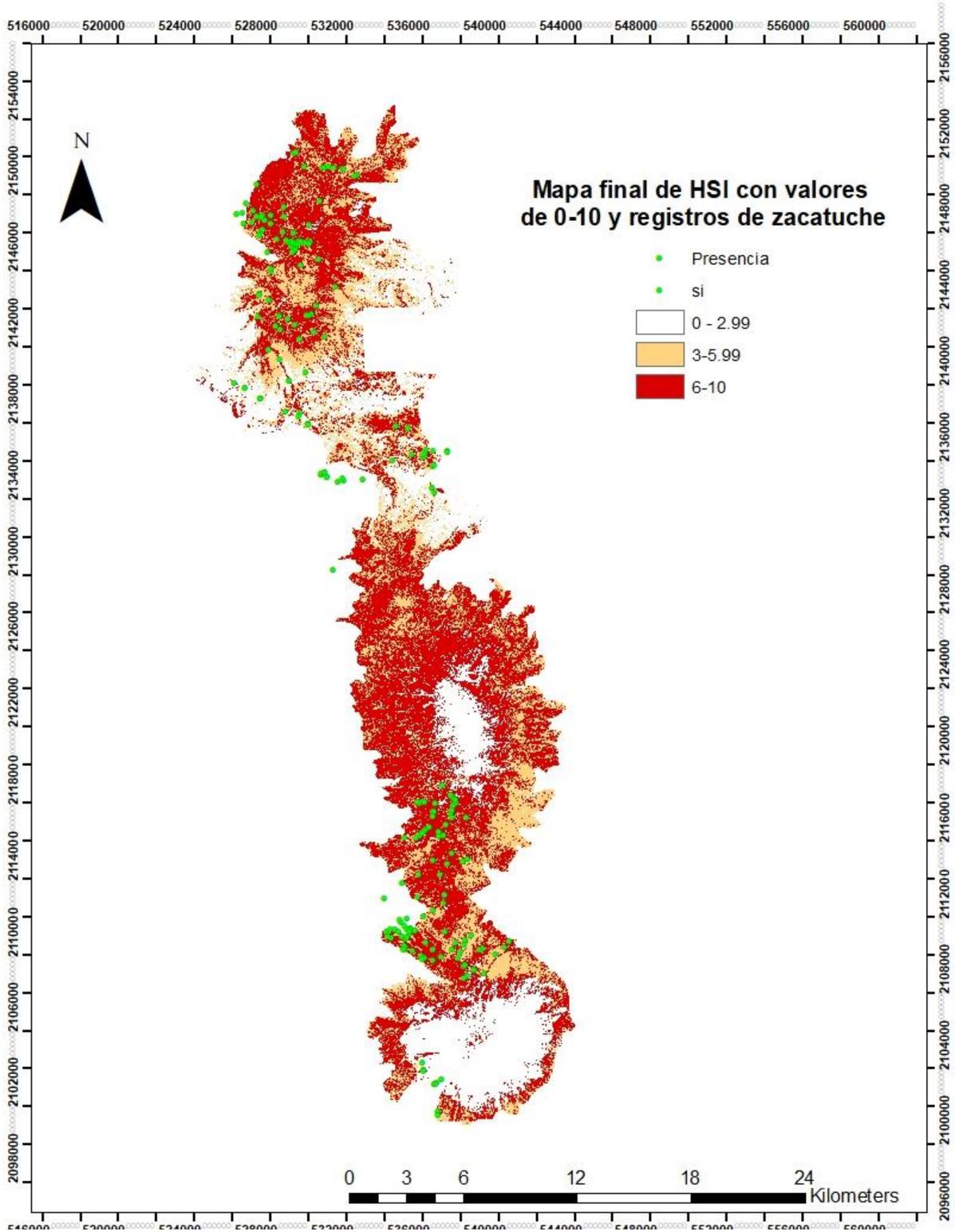


Figura 9 Mapa de combinación de capas del Hábitat adecuado para el teporingo (HSI).

### ***Disponibilidad y selección de hábitat***

Con base en los puntos de registro de presencia de la especie (Fig. 9) se hizo el análisis de la selección y preferencia y disponibilidad de hábitat (Tabla 6).

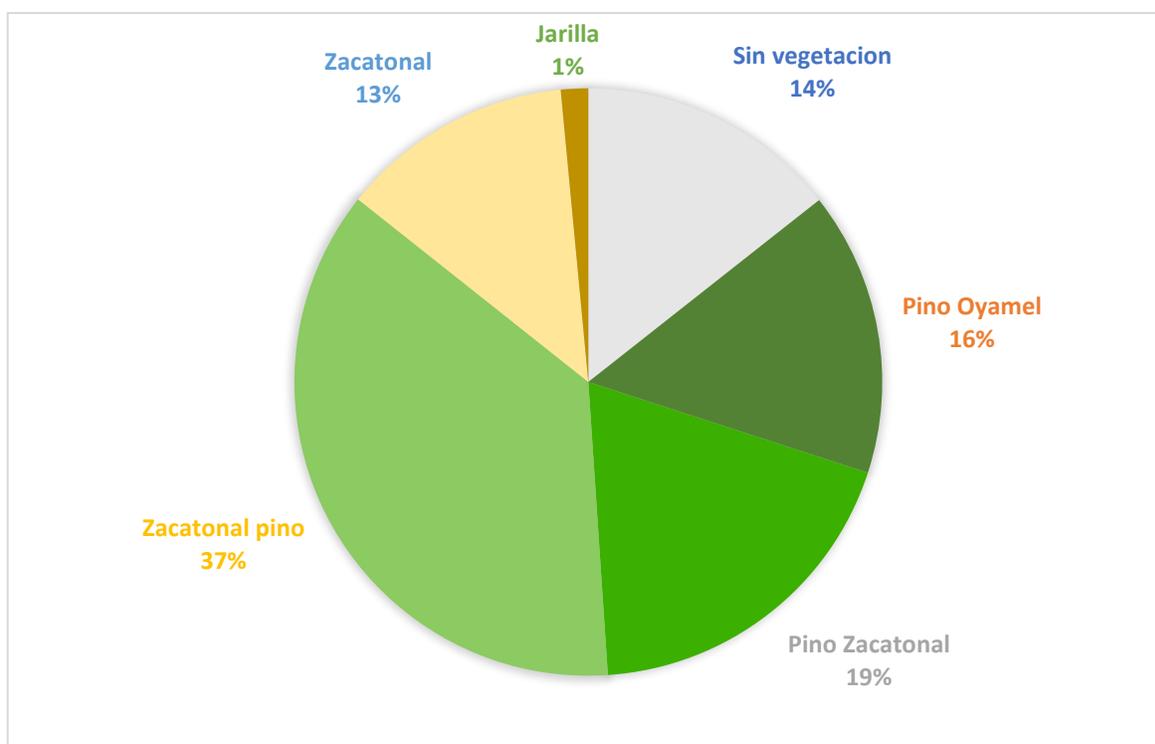
Como se observa se tiene una disponibilidad del zacatonal en el PNIP de 5104 ha. (12.82%) y el 38.96% de los registros de presencia de la especie se dio en este tipo de vegetación. El zacatonal-pino tiene está presente en el 36.74% de la superficie del PNIP y en este tipo de vegetación se tuvo el 40.67% de los registros de presencia de la especie (Fig.10).

*Tabla 6.- Superficie de uso de suelo y vegetación dentro del PNIP y registro de la especie por superficie.*

Uso de suelo y vegetación	Superficie disponible en el ANP en ha	Porcentaje de la superficie	Puntos esperados	Puntos reales	Porcentaje Puntos Reales
Sin vegetación	5722	14.37	77.45	12	2.26
Pino-Oyamel	6224	15.63	84.24	5	0.9
Pino-zacatonal	7542	18.94	102.08	70	12.98
Zacatonal-pino	14629	36.74	198.02	219	40.63

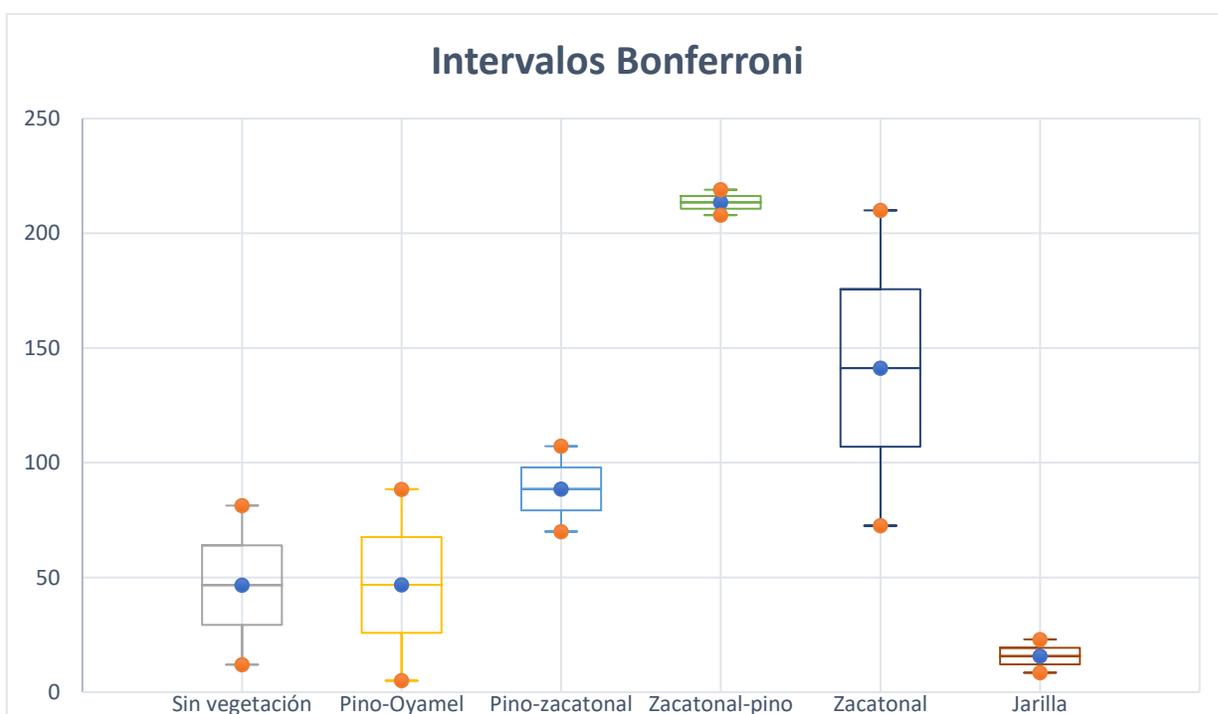
Zacatonal	5104	12.82	69.09	210	38.96
Jarilla	597	1.50	8.08	23	4.26

La jarilla tuvo un 285% más de los registros esperados, lo cual puede ser explicado debido a que este tipo de vegetación se encuentra distribuido en pequeños parches dentro del zacatonal alpino.



*Figura 10 Superficie en porcentaje de los tipos de vegetación reclasificados dentro del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl.*

La prueba de  $\chi^2$  ( $\chi^2=456.97$ ,  $gl=5$ ,  $p<0.0001$ ) mostró diferencias significativas entre el tipo de vegetación seleccionado por el zacatuche. Los intervalos de confianza de Bonferroni (Fig.11) demostraron que el zacatonal alpino es el tipo de vegetación mayormente seleccionado por la especie y el zacatonal-pino es usado en función de la disponibilidad. El Pino-Oyamel y las zonas sin vegetación fueron las menos seleccionadas y usadas por la especie.



*Figura 11 Intervalos de Bonferroni para el tipo de vegetación usado y seleccionado por el teporingo en toda la poligonal del PNIP*

## **DISCUSIÓN**

### ***Densidad, variación poblacional y relación con factores ambientales.***

Se analizó la variación en la densidad poblacional del teporingo de 2012 a 2017 en ocho sitios distribuidos en una porción del PNIP, donde desde 2008 se realizaron trabajos de restauración ecológica, principalmente reforestaciones, obras de captación de agua (tinas ciegas) y aperturas de brecha cortafuego. Los resultados muestran que no existe un decremento significativo en las densidades poblacionales anuales que van de 9.9 individuos/hectárea para 2012, a 9.64 individuos/hectárea en 2017. Rizo-Aguilar (2014), reportó una densidad poblacional de hasta 6.22 conejos por hectárea en el Corredor Biológico Chichinautzin y de 1.22 conejos por hectárea en el Volcán Pelado en 2009; mientras que Brito-Gonzalez (2017) reportó una variación poblacional de 1.5 individuos/hectárea en 2011, a 0.7 individuos /hectárea en 2016 en la misma zona, mostrando un claro decremento en la población de teporingos, resultado de las presiones antropogénicas en la zona, principalmente de cultivo de papa y avena y extracción de tierra de monte.

A pesar de que los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl son consideradas zonas núcleo de distribución de la especie, se han realizado pocos estudios referentes a densidad poblacional del zacatuche y los factores que la determinan. Martínez-García (2011), reportó para esta zona, 144.40 conejos por hectárea, utilizando la ecuación  $\delta = \{10,000 \text{ m}^2/\text{ha}\} * \mu / (P * T * A)$ , usando como valor de  $\mu$  33.87  $\text{m}^2$  /letrina como promedio del número de excretas por unidad de muestreo; asociando a su vez el tipo de vegetación como principal factor de distribución de la especie. Guerrero (2018), estimó una densidad promedio de 22.45

individuos/hectárea al sur del volcán Iztaccíhuatl, zona que corresponde al sitio 3 de este estudio y que, a lo largo de este trabajo tuvo una densidad promedio de 24.06 individuos por hectárea. La densidad poblacional del Popocatepetl reportada por Guerrero (2018) de fue de 9.7, similar al promedio general de este estudio (9.8 individuos/hectárea). El volcán Papayo, presentó la densidad más alta (35.2 individuos/hectárea), sin embargo, esto no se debe a las condiciones óptimas de la zona, sino a la poca disponibilidad de zacatonales y la aglomeración de individuos en ciertas zonas, sobre todo en aquellas en las que el hábitat ha sido perturbado (Guerrero, 2018), esto debido a que los procesos demográficos y la regulación poblacional, afectan la selección y uso del hábitat, produciéndose una ocupación máxima de los hábitats óptimos, por los individuos dominantes o reproductores y un desplazamiento de individuos subordinados a ambientes subóptimos (Montgomery, 1989; Wolff, 1997).

A diferencia de la zona del Papayo, y a pesar de que la zona en la que se realizó este estudio se encuentra sometida a una gran presión debido al aumento del turismo de montaña, reforestaciones y apertura de zanjas captadoras de agua y brechas cortafuego, también es de las zonas que han sufrido un menor impacto, puesto que dentro de las actividades de restauración que se llevan a cabo, se ha realizado la expulsión de ganado, la restricción y vigilancia en zonas de conservación y el combate a incendios forestales, lo que ha permitido la preservación del hábitat del teporingo. El pastoreo de ganado ilegal por parte de los pobladores de las zonas aledañas al PNIP es uno de los mayores disturbios que

amenaza la conservación del zacatuche, ya que afecta negativamente tanto la ocupación del hábitat como la abundancia de la especie, debido a que dicha actividad cambia la estructura del zacatonal y tiene asociados incendios provocados para la renovación del zacatonal que después sirve de alimento al ganado (Osuna et al en prensa).

### **Selección y disponibilidad del hábitat**

Los mamíferos pequeños seleccionan hábitat en función de los recursos que éste le ofrece (disponibilidad de alimento, refugios), pero muchos otros factores como su historia evolutiva (el plazo que una especie ha vivido en el área) y su grado de especialización, también tienen una influencia en la distribución espacial y temporal de los individuos (Wolff, 1997).

La selección del hábitat de mamíferos pequeños no es un proceso estable en las escalas temporales y espaciales, ya que experimentan variaciones estacionales e interanuales en su tamaño de población y abundancia. Lo que se observa en las variaciones entre las densidades poblacionales en este estudio de 10.1 individuos por hectárea en un periodo a 9.5 individuos por hectárea en otro periodo, debido a que la estimación de las densidades se realizó por trimestres, es difícil decir si estas variaciones se deben a una variación estacional, ya que los análisis realizados no encontraron una relación entre la densidad con la temperatura y la humedad por periodos ( $P=0.48$ ) o anualmente ( $P=0.09$ ). Similar a lo reportado por Brito-González

(2017), quien no encontró relación entre la precipitación y la densidad del zacatuche en la Sierra del Chichinautzin.

## **ANÁLISIS**

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 nivel de paisaje (macrohábitat) y a pequeña escala (microhábitat). 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).

Para *Romerolagus diazi*, Hunter y Cresswell (2015), consideraron la altitud, longitud, pendiente, frecuencia de incendios, porcentaje de cobertura y altura de los pastos como factores que predicen la presencia y abundancia de la especie en el volcán Iztaccíhuatl, encontrando que en los bosques de pino encino cerrado, con presencia de pastoreo, en pastos altos, con mayor pendiente y altitud disminuye la ocurrencia de la especie mientras que en sitios con mayor cobertura de zacatonal, pastos cortos y mayor frecuencia de incendios la ocurrencia de la especie aumenta.

Rizo-Aguilar et al. (2015) consideraron la cobertura y altura de los árboles, DAP, cobertura y altura de arbustos y pastos obteniendo que la presencia de la especie se correlaciona positivamente con la cobertura y altura de los pastos en la Sierra de Chichinautzin. Urióstegui-Velarde et al. (2018), mediante el uso de SIG,

analizaron la disponibilidad del hábitat adecuado y la configuración del paisaje para el zacatuche en la Sierra del Ajusco-Chichinautzin, determinando que los zacatuches se ven favorecidos con la cobertura del zacatonal o zacatonal con bosque y con el incremento a la distancia de las poblaciones humanas.

Guerrero (2018) consideró la cobertura arbórea y del zacatonal, altura de los árboles, arbustos, del zacatonal más alto y del promedio del zacatonal (de todas las especies) y DAP (Diámetro a la altura del pecho), como factores que se relacionan con la abundancia del zacatuche, encontrando que la cobertura del zacatonal y la altitud tienen una relación positiva con el número de letrinas.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que el zacatuche prefiere el zacatonal abierto, a pesar de no tenerlo tan disponible a diferencia del pino con zacatonal que tiene una mayor disponibilidad, pero una menor selección, determinando que la altitud y la pendiente junto con el tipo de vegetación, son factores que determinaron la presencia de la especie dentro del PNIP.

De la extensión total del polígono del parque (39, 819 ha), el 12.82% corresponde a zacatonal, 3.74% a una superficie con pendientes con valores de 8 a 10 de la reclasificación y 53.13% a una superficie con altitudes con valores de 8 a 10 de la reclasificación. Al realizar la combinación de estos factores para obtener el índice de calidad óptimo de hábitat para el teporingo, únicamente 224 ha obtuvieron un valor de 10. Si consideramos los valores de 8 a 10, la superficie con características óptimas para la especie es de apenas 10,473.08 ha (26.30%). Urióstegui (2018) calculó la superficie adecuada para el zacatuche en la Sierra del

Ajusco-Chichinautzin es de 7.544 ha, equivalente apenas al 13.38% del paisaje, en parches de entre <0,25 y 1,765.5 ha.

A pesar de que la distribución total estimada del zacatuche es de 342 km<sup>2</sup> (Velázquez y Guerrero, 2019), la superficie de hábitat óptimo es mucho menor, lo que aumenta el riesgo de extinción de la especie, puesto que las especies de distribución restringida son presumiblemente más vulnerables a impactos de pérdida de hábitat, tales como extinciones locales, en relación con especies que muestran distribuciones amplias.

En el sitio donde se llevaron a cabo el conteo de letrinas para el cálculo de la densidad (polígono Volkswagen) no existen problemas de fragmentación de hábitat por cambio de uso de suelo, lo que ha permitido que las densidades poblacionales se mantengan estables. Sin embargo, a largo plazo las reforestaciones (1000 árboles por hectárea) que se han llevado a cabo en la zona, disminuirán la superficie total del zacatonal, reduciendo aún más la superficie disponible para el teporingo, y por lo tanto el hábitat óptimo disponible; por lo que es necesario disminuir la densidad de árboles reforestados mediante banqueos o aclareos que permitan mantener la continuidad del zacatonal; además de redestinar los recursos designados a la ampliación del bosque a la conservación del zacatonal alpino y subalpino.

De acuerdo con Galicia y Rodríguez-Bustos (2016), la tasa de cambio de la cobertura de bosque de pino-encino de 1980-1990 fue de 0.77, para el periodo 1990-2000 de 0.51 y de -0.55 para el periodo 2000-2013, relacionado con la

efectividad del ANP para contener la deforestación y al mismo tiempo implementar programas de reforestación, por otro lado la pradera de alta montaña muestra desde 1980 aislamiento constante, en las que para 1980 contaba con 6,760 ha, las cuales disminuyeron a 4,311 en 2010; y recuperándose a 5,695 ha para 2013, resultado similar al de este estudio de 5,104 ha de zacatonal.

La fragmentación de la pradera de alta montaña o pastizal alpino también ha sido resultado de la apertura de zanjas captadoras de agua, asociadas comúnmente a las reforestaciones que generan una conversión del paisaje y por la intensificación en el uso de paisaje, relacionado con las actividades turísticas de naturaleza como el alpinismo que, si bien no modifican la cobertura natural, si promueven la división de la estructura de paisaje.

## **CONCLUSIONES**

La densidad poblacional del teporingo en la zona de estudio se ha mantenido estable de 2012 a 2017, a diferencia de otros sitios en los que se ha observado un decremento en el tamaño poblacional de la especie, debido principalmente a actividades antropomórficas. El sitio con mayor variación en la densidad poblacional corresponde al sitio donde las actividades de restauración (reforestaciones, tinajas ciegas y brechas) se llevaron a cabo de manera constante hasta finales de 2015; sin embargo, este sitio también fue el que presentó mayores densidades poblacionales a lo largo del estudio.

Si bien, la humedad y temperatura no tienen una relación directa con la densidad poblacional del zacatuche, los cambios en estos factores disminuirán la

superficie disponible de zacatonal, principal hábitat de la especie. Sumado a esto, las reforestaciones/aforestaciones llevadas a cabo, transformarán la superficie de zacatonal a zacatonal pino.

La densidad poblacional de zacatucho en el PNIZ a diferencia de otros sitios de distribución de la especie es mayor, debido principalmente al grado de conservación en el que se encuentran los zacatonales, sin embargo es necesario implementar medidas de manejo que favorezcan el mantenimiento de este ecosistema, ya que si bien no existen dentro del parque poblaciones y la tenencia de la tierra es federal, la extracción de madera ilegal, los incendios forestales provocados y la ganadería son actividades que indirectamente impactan de forma negativa la densidad y distribución de la especie.

## **IMPLICACIONES PARA LA CONSERVACIÓN**

De 1994 a 2015 se han producido cambios en el 25.18% de la superficie de la Sierra Nevada, de los cuales el 15.46% ha sido fuera del PNIP; 7.32% dentro del polígono del parque y 2.4% en áreas protegidas de carácter estatal; ese 15.46% representan 11,232.39 ha del ANP en el que el principal cambio ha sido la degradación forestal. Sin embargo, las áreas de recuperación del bosque, ha sido mayor (4.45%) que la degradación de éste (2.87%) (López-García, 2019).

Los trabajos de restauración, protección y conservación tales como: expulsión de ganado, combate y prevención a incendios forestales, repastización,

monitoreo de fauna silvestre, educación ambiental, entre otros que se han llevado a cabo han sido primordiales para mantener los patrones naturales de la especie, debido a que la pérdida y fragmentación del hábitat son la principal causa de amenaza para sus poblaciones.

Cabe mencionar que estos programas también han impactado al ecosistema al incrementar la superficie forestal y disminuir el pastizal natural, por lo que es necesario replantear las estrategias y actividades de recuperación del bosque; ya que las aforestaciones y reforestaciones generan un cambio en el paisaje al modificar principalmente, la distribución de este y la abundancia de los recursos naturales.

Considerando que el principio fundamental para la conservación de biodiversidad es el mantenimiento de hábitat disponible para las especies de plantas, animales y otros organismos, la conservación de la biodiversidad requiere de prácticas de manejo de hábitat, aplicando diferentes estrategias de conservación a diferentes escalas, incluyendo desde la protección de áreas cuyo objetivo central es proteger hábitats frágiles, hasta la aplicación de prácticas de retención de componentes de hábitat en las áreas sujetas a aprovechamiento (Thomas 1979; Lindenmayer y Franklin 2002; Lindenmayer et al. 2006)

## **BIBLIOGRAFÍA**

- (AMCELA), A. M. (2003). *<http://www.ibiologia.unam.mx/amcela/diazi.html>*.  
Obtenido de <http://www.ibiologia.unam.mx/amcela/diazi.html>
- (RUOA), R. U. (2019). Obtenido de  
<https://www.ruoa.unam.mx/index.php?page=estaciones&id=2>
- (SEMARNAT), S. d. (2010). NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-059-SEMARNAT-2010, PROTECCION AMBIENTAL-ESPECIES NATIVAS DE MEXICO DE FLORA Y FAUNA SILVESTRES-CATEGORIAS DE RIESGO Y ESPECIFICACIONES PARA SU INCLUSION, EXCLUSION O CAMBIO-LISTA DE ESPECIES EN RIESGO.
- (SEMARNAT), S. d. (2013). *Programa de Manejo Parque Nacional Iztaccihuatl Popocatepetl CONANP*. Mexico: SEMARNAT.
- Aranda, M. (2000). *Huellas y otros rastros de los mamíferos grandes y medianos de México*. México: Instituto de Ecología, A.C. .
- Armesto, J., & Valdovinos, C. (2005). *Historia, Biodiversidad y Ecología de los bosques costeros de Chile*. . Chile: Editorial Universitaria.
- Audesirk, T. (2004). *Biología: ciencia y naturaleza*. México: Pearson Educación.
- Block , W., & Brenna , L. (1993). The habitat concept in ornithology: Theory and applications. En *Current ornithology* (págs. 35-91). New York: Plenum Press.
- Brito-González, D., & Guerrero, J. A. (2017). *Estimación de la densidad poblacional del conejo Zacatucho (Romerolagus diazi): Variación interanual y efectos del hábitat*. Morelos: Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

- Cervantes A. , F., & Gonzales X., F. (1996). Los conejos y liebres silvestres de México. En A. Velazquez, F. Romero F, & J. Lopez-Paniagua, *Ecología y Conservación del Conejo Zacatuche y su Habitat* (págs. 17-25). Mexico: Fondo de Cultura Económica.
- Cervantes, A. F., & Martínez, J. (1996). Historia natural del conejo Zacatuche o teporingo (*Romerolagus diazi*). En A. Velazquez , F. Romero J, & J. Lopez-Paniagua, *Ecología y Conservación del Conejo Zacatuche y su Habitat* (págs. 29-40). Mexico: Fondo de Cultura Económica.
- Cervantes, F. C., Lorenzo, J., & Hoffman, S. (1990). *Romerolagus diazi*, Mammalian Species. *American Society of Mammalogist*, 360:1-7.
- Chapman, J., & Flux, J. (1990). *Rabbits, hares and pikas: Status survey and conservation plan*. IUCN/SSC.
- Cody, M. (1985). *Habitat selection in birds*. New York: Academic Press.
- CONANP. (2012). *Área de protección de Flora y Fauna Corredor biológico Chichinautzin. Monitoreo del Zacatuche (Romerolagus diazi)*.
- Dawson, M. (1979). Evolution of the modern Lagomorphs. *Proceedings of the World Lagomorph Conference* (págs. 1-8). Canada: University of Guelph.
- Delfín-Alonso, C. A., Gallina-Tessaro, S. A., & López-González, C. A. (2013). El hábitat: definición, dimensiones y escalas de evaluación para la fauna silvestre. *Fauna Silvestre de México: uso, manejo y legislación*, 285-288.
- Farías, V. (2011). Conceptos ecológicos, métodos y técnicas para la conservación de conejos y liebres. En O. Sánchez, P. Zamorano, E. Peters, & H. Moya, *Temas sobre conservación de vertebrados en México* (págs. 229-248). México: Instituto Nacional de Ecología .

- Ferrari-Pérez. (1983). *Departamento de Zoología, Instituto de Biología.*  
*Romerolagus diazi*. Obtenido de Colección Nacional de Mamíferos. UNAM:  
<http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:CNMA:37823>
- Fullbright, E., & Ortega-S, A. (2007). *Ecología y manejo de Venado Cola Blanca.*  
 Texas: University Press.
- Galicia, L., & Rodríguez-Bustos, L. (2016). Causas locales de la transformación del  
 paisaje en una región montana del centro de México. *Acta Universitaria* ,  
 83-94.
- García-Feria, Y., Campos Morales, G., Guerrero Enriquez, J., Aguilar-Rizo, A.,  
 Brito-Gonzales, D., & Fariás-Gonzales, V. (2018). *Manual de monitoreo del  
 conejo zacatuche (Romerolagus diazi)*. México.
- Gaumer, G. (1993). *Monografía sobre el Lagomys diazi Ferrari Perez*. México:  
 Dirección general de agricultura, departamento de exploración biológica,  
 México. .
- González, F. A., & González, F. X. (1996). Los conejos y liebres silvestres de  
 México. En A. F. Velázquez, F. J. Romero, & J. López Paniagua, *Ecología y  
 Conservación del Conejo Zacatuche y su Hábitat* (págs. 17-25). México:  
 Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica .
- González, M., Jurado, E., González, S., Aguirre, O., Jiménez, J., & Navar, J.  
 (2003). Cambio climático mundial: Origen y consecuencias. *CiENCiA UANL*.
- Granados Sánchez, D., López Ríos, G., Hernández García, M., & Sánchez  
 González, A. (2004). Ecología de la Fauna Silvestre de la Sierra Nevada y  
 la Sierra del Ajusco. *Revisa Chapingo. Series Ciencias Forestales y del  
 Ambiente*, 111-117.
- Guerrero, J. A. (2018). *Informe final monitoreo de fauna del Parque Nacional  
 Iztaccíhuatl Popocatepetl, Zoquiapan*. Puebla: Programa de Restauración,

Protección y Conservación de los Recursos Naturales del Parque Nacional Iztaccihuatl Popocatepetl patrocinado por Volkswagen de México.

Hall, L. S., Krausman, P. R., & Morrison, M. L. (1997). The habitat concept and plea for standard terminology. *Wildlife Society Bulletin*, 173-182.

Hernández, L., Laundré, J. W., Grajales, K. M., Portales, G. L., López-Portillo, J., González-Romero, A., . . . Martínez, J. (2011). Plan productivity, predation and the abundance of black-tailed jackrabbits in the Chihuahua Desert of Mexico. *Journal of Arid Environments*, 1043-1049.

Hunter, M., & Cresswell, W. (2015). *Factors affecting the distribution and abundance of the endangered volcano rabbit Romerolagus diazi on the Iztaccihuatl volcano*. México: Oryx.

*International Union for Conservation of Nature - IUCN*. (19 de Octubre de 2020).

Krausman, R. (1999). Some basic principles of habitat use, grazing behavior of livestock and wildlife. *Idaho Forest. Wildlife and range experiment station bulletin*, 85-90.

Lindermayer, D. B., Franklin, J. B., & Fischer, J. (2006). *General management principles and a checklist of strategies to guide forest biodiversity conservation*. *Biological conservation*: 433-445.

Lindermayer, D. B., & Franklin, J. F. (2002). *Conserving forest biodiversity*. Washington: Island Press.

López-García, J. (2019). Changes in forest cover in Sierra Nevada, México, 1994-2015. *Journal of maps*, 418-424.

Mancinez-Arellano, A. L. (2017). *Dieta del conejo zacatuche (Romerolagus diazi) en hábitats contrastantes del Corredor Biológico Chichinautzin*. México : Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. .

- Martinez Garcia, J. A. (2011). *Densidad, uso y evaluacion del habitat y de la dieta del Romerolagus diazi en el Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas*. Estado de Mexico: Colegio de Postgraduados .
- Matsuzaki, T., Kamiya, M., Suzuki, H., Nomura , T., & Velázquez, A. (1996). Reproducción en el laboratorio del conejo zacatucho. En F. Velázquez, J. Romero, & J. López Paniagua, *Ecología y Conservación del Conejo Zacatucho y su Hábitat* (págs. 51-66). México: Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica.
- Mitchel, S. (2005). How useful is the concept of habitat?- A critique. *Oikos* , 634-638.
- Montenegro, J. A., Acosta, A., & Reimer, J. D. (2014). HaviStat/copyright v2. 2: Application to estimate preference for habitat and resources. *Universitas Scientiarum*, 333-337.
- Montenegro, J., & Acosta, A. (2008). Programa innovador para evaluar uso y preferencia de habitat. *Universitas Scientiarum*.
- Montgomery, W. I. (1989). Population regulation in the wood mouse, *Apodemus sylvicatus*. *J. Anim. Ecol*, 465-494.
- Morris, D. (2003). Toward an ecological synthesis: a case for habitat selection. *Oecologia*, 1-13.
- Morrison, M., Block, W., Dale Strickland, M., Collier, B., & Peterson, M. (2008). *Wildlife study design*. New York: Springer series on Environmental Management.
- Portales , G., Reyes, P., Rangel , H., Velazquez , A., Miller, P., Ellis, S., & Smith, A. (1997). *Taller internacional para la conservación de los lagomorfos Mexicanos en Peligro de Extinción*. USA: IUCN/SSC Conservation Breeding Specialist Group.

- Portales, G. L., Farías, V., & Antaño, L. A. (2006). *Lagomorfos. Taller sobre conservación y uso sustentable de mamíferos silvestres en UMA*. México: Dirección General de Vida Silvestre. SEMARNAT.
- Puertas, D. F. (2005). El análisis de Uso/Disponibilidad de área para determinar la utilización del hábitat por ungulados en la Amazonia. *Bosques, Fauna Y Conservación Amazonia desde dentro*, 261-278.
- Rangel-Cordero, H. (2008). *El efecto del fuego en la persistencia de las poblaciones del zacatuche (Romerolagus diazi), en México: un enfoque multiescalar*. México : Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones en Ecosistemas. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Reynolds, J., & Tapper S.C. (1996). Control of mammalian predators in game management and conservation. En *Mammal Review* (págs. 127-155). Wiley.
- Rizo-Aguilar, A. (2014). *Uso de hábitat, distribución y abundancia del conejo zacatuche (Romerolagus diazi) en la Sierra Chichinautzin*. Xalapa, Veracruz: Instituto de Ecología A.C.
- Rizo-Aguilar, A., Delfín-Alonso, C., González-Romero, A., & Guerrero, J. A. (2016). Distribution and density of the zacatuche rabbit (*Romerolagus diazi*) at the Protected Natural Area "Corredor Biológico Chichinautzin". *Therya*, 333-342.
- Rizo-Aguilar, A., Guerrero, J. A., Hidalgo-Mihart, M. G., & González-Romero, A. (2015). Relationship between the abundance of the Endangered volcano rabbit *Romerolagus diazi* and vegetation structure in the Sierra Chichinautzin mountain range. *Oryx*, 360-365.
- Romero, F., & Velázquez, A. (1994). *El conejo Zacatuche: tan lejos de Dios y tan cerca de la Ciudad de México*. México: INE y CNF.
- Romero. (2011). Del conocimiento específico a la conservación de todos los niveles de organización biológica. El caso del zacatuche y los paisajes que

denotan su hábitat. *Investigación ambiental. Ciencia y política pública*, 59-62.

Ruiz Rivera , N., & Galicia , L. (s.f.). La escala geográfica como concepto integrador en la comprensión de problemas socio-ambientale.

*Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2016.

Sánchez-Cordero, V. I.-R. (2009). Deforestation and biodiversity conservation in Mexico. *Endangered species: new research*, 279-298.

Sanchez-Gonzalez, A., & López Mata , L. (2003). Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Anales del Instituto de Biología. UNAM, serie botánica.* , 47-71.

Seamon , J. O., & Adler, H. (1996). Population performance of generalist and specialist rodents along habitat gradients. *Can. J. Zool.*, 1130-1139.

Solorio-Damián, M. (2013). *Descripción de la actividad crepuscular del conejo zacatuche (Romerolagus diazi) en estado silvestre en el Corredor Biológico Chichinautzin*. México. : Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Starr, C., & Taggart, R. (2004). *Biología: la unidad y diversidad de la vida.* . México: Thompson Learning.

Thomas, J. W. (1979). *Wildlife habitats in managed forests the Blue Mountains of Oregon and Washington*. Washington: Department of Agriculture, Forest Service. .

Toledo, V. (1994). La diversidad biológica de Mexico. Nuevos retos para la investigación de los novent. *Ciencias*, 43-57.

Trefethen, J. B. (1964). *Wildlife management and conservation*. Boston: D.C. Heath & Co. .

- Underwood, A. J., Chapman, M. G., & Crowe, T. P. (2004). Identifying and understanding ecological preferences for habitat or prey. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 161-187.
- Uriostegui-Velarde, A., González-Romero, A., Pineda, E., Rizo-Aguilar, A., Reyna-Hurtado, R., & Guerrero, J. A. (2018). Configuration of the volcano Rabbit (*Romerolagus diazi*) landscape in the Ajusco-Chichinautzin mountain range. *Oryx*.
- Uriostegui-Velarde, J., Vera-García, Z., Ávila-Torresagaton, Rizo-Aguilar, A., Hidalgo-Mihart, M., & Guerrero, J. A. (2015). Importancia del conejo zacatuche (*Romerolagus diazi*) en la dieta del coyote (*Canis latrans*) y del Lince. *Therya*, 609-624.
- Van Dyke, F. (2008). *Conservation biology. Foundations, concepts, applications*. EU: Springer.
- Velázquez, A., & Guerrero Enríquez, J. (2019). *Romerolagus diazi*. *The IUCN Red List of Threatened*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019>
- Velázquez, A., & Heil, G. (1996). Habitat suitability study for the Conservation of the Volcano Rabbit (*Romerolagus diazi*). *The Journal of Applied Ecology*, 543-554.
- Velázquez, A., Romero, F., & López, P. J. (1996). Amplitud y utilización del hábitat del conejo Teporingo. En A. Velázquez, F. Romero, & J. López-Paniagua, *Ecología y Conservación del Conejo Teporingo y su Hábitat* (págs. 89-101). México: Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica.
- Velazquez, A., & Guerrero, J. (2020). *Romerolagus diazi*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2019*. Obtenido de <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T19742A45180356.en>

- Velázquez, A., Larrazábal, A., & Romero, F. (2011). Del conocimiento específico a la conservación de todos los niveles de organización biológica. El caso del zacatuche y los paisajes que denotan su hábitat. *Investigación ambiental. Ciencia y política pública*, 59-62.
- Velazquez, A., Romero J, F., & Leon, L. (1996). Fragmentacion del habitat del conejo zacatuche. En A. Velazquez, F. Romero J. , & J. Lopez-Paniagua, *Ecología y Conservacion del Conejo Zacatuche y su Habitat* (págs. 73-86). Mexico: Fondo de Cultura Economica.
- Wiens, J. (1986). Spatial and temporal variation in studies of shrubsteppe birds. En J. Diamond, & T. J. Case, *Community ecology* (págs. 154-172). New York: Harper & Row.
- Wolff, J. O. (1997). Population regulation in mammals: an evolutionary perspective. *J. Anim. Ecol.*, 440-445.
- Zambrano-Salgado, V. (2009). *Densidad y abundancia del conejo de los volcanes (Romerolagus diazi) en el Área de protección de Flora y Fauna Corredor Biológico Chichinautzin. Tesis de Licenciatura* . Morelos: Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



## CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN

Cuernavaca, Morelos a 11 de enero de 2021

**Comisión de Seguimiento Académico  
Maestría en Biología Integrativa de la  
Biodiversidad y la Conservación  
PRESENTE**

Como integrante del jurado y después de haber evaluado la tesis titulada **“DENSIDAD POBLACIONAL Y ANÁLISIS DEL HÁBITAT DEL CONEJO ZACATUCHE (*Romerolagus diazi*) EN EL PARQUE NACIONAL IZTACCÍHUATL POPOCATÉPETL”** de la alumna **Karen Giovanna Castillo Sánchez**, con número de matrícula **10022634**, aspirante al grado de Maestro(a) en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, considero que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Por lo tanto emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

Dr. David Valenzuela Galván  
Profesor Investigador Titular C  
dvalen@uaem.mx



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

DAVID VALENZUELA GALVAN | Fecha:2021-01-11 12:54:30 | Firmante

VkcOYtrEjzP7rV3ePsvhdNpjSKdzqxrXCOKK2RNU5fN571gtsjB3uYxq9t9CnrcLNHs3dXTYrCGp8JaQCAR3ni8IGpzIbn9bw027YbyNhOzI5q2Hd4PXUPWAvCW4I7oLzVZfmCK513LkCrMgp/+BhINhmYL6EaENyI1zeR+FPb8kOXBOdoxrAhiyyFrrTln947ObqCfF6u5NibsGvpqTYas5a/spOj6K3IF9NJI7LlthAnCUomBS1lp1FWQHnSvSkzE4JGEWR92xqs7VspK MfIyqHaA3EGRWsf4GgcVVwne0p6NogHEL6lxgQOxDEsNCdJdHWsnQQOm2pLi7gko+yA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



vrWQIT

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/AF8OujDYKby0uufu8LP5N8ZZICBkGpzs>





Red de Biología y Conservación de Vertebrados

Fecha: 2 de diciembre 2020.

Comisión de Seguimiento Académico  
Maestría en Biología Integrativa de la  
Biodiversidad y la Conservación  
Presente

Como integrante del jurado y después de haber evaluado la tesis titulada **“DENSIDAD POBLACIONAL Y ANÁLISIS DEL HÁBITAT DEL CONEJO ZACATUCHE (*Romerolagus diazi*) EN EL PARQUE NACIONAL IZTACCÍHUATL POPOCATÉPETL”** de la alumna **Karen Giovanna Castillo Sánchez**, con número de matrícula **10022634**, aspirante al grado de Maestro(a) en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, considero que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado. Por lo tanto emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente

zGN14JshYRCOfvZ1Ta8bHQUEiN+KftNufx3TmMdvkp08wMzP5VVNeV08A1//Z1z9eyY4cE8libkUvBF+/TgVDVgpVhLGqcysRPREBoI7QaKN  
g8fDISHXdhuzXsgiwBJkaQjQwV5

9sQn+wXnzhpLpxPuOitdOkAdzRracVKnaevbkyHiyKZ1YI7NPD5DZ5KX49FxGseJMDu56kb7N+BdT+L/nGpL4oFdEqdycXw0lebKXqLORFS6  
7s5gKs8/Of8QUY+V6jm2qMiUAJI

alz4/K8x+24QfZ6O8WdYYz1EW6kW9z9s+3KvCTS4yhxyL0yGgMNBVxeppe2LgMVHRNQkmuiw==

---

**Dra. Sonia Antonieta Gallina Tessaro**



Fecha: 11 de enero de 2021

**Comisión de Seguimiento Académico  
Maestría en Biología Integrativa de la  
Biodiversidad y la Conservación  
Presente**

Como integrante del jurado y después de haber evaluado la tesis titulada **“DENSIDAD POBLACIONAL Y ANÁLISIS DEL HÁBITAT DEL CONEJO ZACATUCHE (*Romerolagus diazi*) EN EL PARQUE NACIONAL IZTACCÍHUATL POPOCATÉPETL”** de la alumna **Karen Giovanna Castillo Sánchez**, con número de matrícula **10022634**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, considero que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado. Por lo tanto emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente

---

**Dr. José Antonio Guerrero Enríquez**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

JOSE ANTONIO GUERRERO ENRIQUEZ | Fecha:2021-01-11 14:06:24 | Firmante

jUJQF+uknen9ulWCBDpi4Uk4CcFyxweVxNOb0HZYB4tBwUSrKAGj6+v05ad/ozFG+SQNWyYm2rAYGEy6R01/96xT9ZMEkcof43flobdmBLhKrdSq2zxuxzVznXQHPTtfUV70/c9Q3skZEIJCPk0abM2aljtjiaTCSrW3p5OnG5IO/WUfBibQazJTovdlu7VnNBXQzXnoKWFQI+slQEgoJPaOOBI3SiXEI9RVv6DR7tXFqra2EOtfX3xeGrAeZ9CfAPRxl8E9SMxzzwty73cG83OMWliYvCO+/79u8cx9Wtqh8eE+5MHDXc/MFM7AY4Gg4yFXX2ucP4ZqrCJZIng==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



wncrRs

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/NKxKmUANP8LBDcEWoBiDPpFd1KF1X7L1>

UA  
EM



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias  
Químicas e Ingeniería

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS e INGENIERÍA

Programas educativos de calidad reconocidos por CIEES, CACEI y CONACYT  
SGC certificado en la norma ISO 9001:2015

Cuernavaca, Morelos a 15 de diciembre de 2020

**Comisión de Seguimiento Académico  
Maestría en Biología Integrativa de la  
Biodiversidad y la Conservación  
P R E S E N T E**

Como integrante del jurado y después de haber evaluado la tesis titulada **“DENSIDAD POBLACIONAL Y ANÁLISIS DEL HÁBITAT DEL CONEJO ZACATUCHE (*Romerolagus diazi*) EN EL PARQUE NACIONAL IZTACCÍHUATL POPOCATÉPETL”** de la alumna **Karen Giovanna Castillo Sánchez**, con número de matrícula **10022634**, aspirante al grado de Maestra en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, considero que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado. Por lo tanto emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente

**Dra. Areli Rizo Aguilar**

**UA  
EM**

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**ARELI RIZO AGUILAR** | Fecha:2020-12-15 23:28:14 | Firmante

Jrzxw915dzdsNBOvJzwoEjWElePojBUOkbHK71vGO8Pxz1KbTy/Ryw60ExFIQ1VjSru99isp2ou3i+6suPew4epf+lmfxexK4KWcm8eUU1LR6PogAHmd/qNfqUz+13sPom4IQitDoVoB8i0lwVrt7DBBaZx+0lcHooC2Jl//atca5Y2aoc+VBHr49m1ESzfaF7g/ni2sG7qJuzQQTigvnD2bA4R+WYktmn5+GtpxxsTUxRAooRjoNquXT6Bt4GYIWLvauX00G2rqhgQ4KczTt4q9mmGSTjwygG4WslFd/F61+BeatFv2KmRQKpESEyCheiPZIYfYd8Pw+hTOj/qA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



**S5nLRy**

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/3tn1caNrn0xGasUAsxMuB8QwtYuWdAuv>