

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA



TRABAJO DE GRADO

COMPOSICIÓN Y DIVERSIDAD DE ROEDORES DE LAS FAMILIAS
CRICETIDAE Y HETEROMYIDAE DEL PARQUE NACIONAL
MONTECRISTO EN EL PERÍODO DE SEPTIEMBRE A DICIEMBRE DE 2018

**PARA OPTAR AL GRADO DE
LICENCIADA EN BIOLOGÍA**

PRESENTADO POR

KATHERINE MERCEDES AGREDA FUENTES

DOCENTE ASESOR

MAESTRO JOSÉ SANTOS ORTEZ SEGOVIA

JULIO, 2020

SANTA ANA, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

AUTORIDADES



M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

RECTOR

DR. RAÚL ERNESTO AZCÚNAGA LÓPEZ

VICERRECTOR ACADÉMICO

ING. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO GENERAL

LICDO. LUIS ATONIO MEJÍA LIPE

DEFENSOR DE LOS DERECHOS UNIVERSITARIOS

LICDO. RAFAEL HUMBERTO PEÑA MARIN

FISCAL GENERAL

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
AUTORIDADES



M.Ed. ROBERTO CARLOS SIGÜENZA CAMPOS
DECANO

M.Ed. RINA CLARIBEL BOLAÑOS DE ZOMETA
VICEDECANA

LICDO. JAIME ERNESTO SERMEÑO DE LA PEÑA
SECRETARIO

LICDO. CARLOS MAURICIO LINARES HERNÁNDEZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

DEDICATORIA

A mi familia y amigos que han estado a mi lado en los momentos más importantes de mi vida y de los que he aprendido tantas cosas.

A las personas que amo que ya no comparten este plano terrenal, así como las que han dado su vida por la defensa de la Naturaleza.

A las personas bonitas que me han apoyado incondicionalmente compartiendo sus conocimientos de forma desinteresada durante mi formación personal y profesional.

A los que aman la vida y aman hacer Ciencia en nuestro país.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y María Santísima por guiarme siempre en cada uno de mis pasos y decisiones.

A mis padres Oscar Ovidio Agreda y Dora Alicia de Agreda, por su apoyo en cada una de mis locuras, su paciencia y su amor incondicional en cada etapa de mi vida.

A mis hermanos Paola Agreda, Oscar Agreda y mi familia más cercana, especialmente a mi tía Veralice Agreda y mis primas Meradi y María Elisa Padilla por alentarme a seguir en mi carrera apoyándome en cada fase.

A mi asesor interno MSc. José Santos Ortez Segovia por guiarme no sólo en este proceso sino en el estudio de la Zoología durante mis años de carrera. Así también, al personal docente del Departamento de Biología del que aprendí por cinco años.

A mi asesora externa MSc. Melissa Rodríguez Menjívar, por su amistad y ser mi mentora en el estudio de los roedores pequeños, por compartir sus conocimientos, sus correcciones y sugerencias que fueron fundamentales para esta investigación.

Al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales por la gestión del permiso de ingreso y colecta científica para la realización de la presente investigación.

A Luis Girón por compartir sus conocimientos e introducirme al estudio de los roedores; así como a José Ramírez-Fernández por sus sugerencias para la identificación de ratones; David Villalobos-Chaves por su ayuda con el análisis de los datos; William Merino por compartir información y sugerencias para la investigación.

Agradecimientos especiales a Licda. Maritza Guido directora del Parque Nacional Montecristo; Licda. Nohemy Guerra por su apoyo, préstamo de equipo, su amabilidad y apertura para ayudarme en campo.

A Reynaldo Martínez, jefe de guardarrecursos y demás guardarrecursos que me acompañaron en los muestreos (Carlos Molina, Carlos Gutiérrez, Fredy Magaña, Saúl García, Aníbal Meza, Vidal, Baltazar, Don Chico, Don José, Don Yeto) por su ayuda, paciencia, amabilidad y colaboración invaluable en la fase de campo.

A Niña Virginia y su familia, por su amabilidad, hospitalidad y alimentarme rico cada vez que llegaba a su casa.

A Raquel Alvarado por compartir información sobre la preparación de pieles, por su amistad y aclarar mis dudas.

A mis amigos Edgardo Solís, Juan Carlos Ruíz, Edgardo Zúniga, que me acompañaron en el último muestreo, así como Débora Díaz, Iván Samayoa y Neto Fuentes por estar pendientes del proceso y brindarme palabras de aliento. Además, a mi amigo peludito Foster por su apoyo.

A todas las demás personas que creyeron en mí, animándome con sus palabras y buenos deseos.

ÍNDICE

RESUMEN	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I: REVISIÓN DE LITERATURA.....	15
1.1. Generalidades	15
1.1.1. El orden Rodentia	15
1.1.2. Morfología y ecología.....	16
1.1.3. Familia Cricetidae.....	17
1.1.4. Familia Heteromyidae	18
1.2. Antecedentes.....	18
1.3. Importancia ecológica.....	19
1.4. Importancia social.....	20
1.5. ¿Por qué medir la biodiversidad?	21
1.6. Índices y números de Hill.....	22
CAPÍTULO II: DISEÑO METODOLÓGICO	23
1.7. Tipo de investigación	23
1.8. Descripción del área de estudio	23
1.8.1. Ubicación.	23
1.8.2. Características biofísicas	24
1.8.3. Descripción de los estratos	24
1.9. Universo, población y muestra	27
1.9.1. Universo:	27
1.9.2. Población:	28
1.9.3. Muestra:	28
1.10. Instrumentos y técnicas de investigación	28

1.10.1.	Método de muestreo	28
1.10.2.	Caracterización de los transectos	28
1.10.3.	Captura de individuos	29
1.10.4.	Manipulación e Identificación de individuos	31
1.10.5.	Marcaje de individuos	32
1.10.6.	Método de eutanasia para los roedores.....	32
1.10.7.	Preparación de pieles.	34
1.10.8.	Preparación de cráneos.	35
1.10.9.	Órganos internos.....	36
1.11.	Fase de recolección de datos.....	36
1.12.	Procesamiento y análisis de datos	37
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN		41
1.13.	Resultados generales	41
1.13.1.	Esfuerzo de muestreo	41
1.13.2.	Especies encontradas y su estado de conservación.....	41
1.13.3.	Descripción de las especies encontradas	44
1.14.	Diversidad alfa, beta y gamma	50
1.14.1.	Índices de diversidad alfa tradicional y diversidad verdadera .	50
1.14.2.	Curvas de rarefacción y diversidad de orden q	55
1.14.3.	Curva rango-abundancia.....	57
1.14.4.	Diversidad beta	62
1.14.5.	Prueba Kruskal-Wallis.....	65
1.14.6.	Partición completa de la diversidad basada en los números de Hill o diversidad verdadera	65
CONCLUSIONES		70

RECOMENDACIONES	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXOS	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de abundancia de las capturas por sitios de muestreo.	42
Tabla 2. Listado de las especies que se registraron durante el periodo de estudio, y su estado de conservación según la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN).	42
Tabla 3. Valores de índices de diversidad encontrados para tres estratos del Parque Nacional Montecristo.	51
Tabla 4. Valores del índice de Shannon y números de especies efectivas en tres estratos del Parque Nacional Montecristo.	54
Tabla 5. Tabla generada por el programa Inext (resumida) para la diversidad de orden $q=0$	55
Tabla 6. Valores del índice de similaridad de Bray-Curtis entre los tres estratos muestreados.	63
Tabla 7. Probabilidades de ocurrencia de las especies que conforman la metacomunidad del Parque Nacional Montecristo.	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del Parque Nacional Montecristo Trifinio Fraternidad.	23
Figura 2 Bosque nebuloso del Parque Nacional Montecristo.....	25
Figura 3 Fotografía del sustrato en el bosque de pino-roble. b) Vista panorámica del bosque pino-roble en el Parque Nacional Montecristo.	26
Figura 4. Fotografía del bosque seco del Parque Nacional Montecristo.	27
Figura 5. Distribución de transectos en los tres estratos del Parque Nacional Montecristo.....	29
Figura 6. Esquema de la disposición de trampas Sherman en cada uno de los transectos colocados en tres estratos del Parque Nacional Montecristo.	30
Figura 7. Medidas a tomadas para la clasificación de los roedores pequeños.	32
Figura 8. Cámara de CO ₂ para la eutanasia en ratones.....	33
Figura 9. Capturas totales en tres estratos del Parque Nacional Montecristo en el periodo de septiembre a diciembre de 2018.	45
Figura 10. Valores del índice de Dominancia Berger-Parker para tres estratos del Parque Nacional Montecristo.	52
Figura 11. Gráficas de la diversidad verdadera de orden $q= 0, 1$ y 2 para los tres estratos muestreados del Parque Nacional Montecristo.	53
Figura 12. Curvas de rarefacción y extrapolación basadas en el tamaño de la muestra.	56
Figura 13. Curvas de rarefacción y extrapolación basadas en la cobertura de la muestra.	57
Figura 14. Curva rango-abundancia de las especies de roedores de las familias Cricetidae y Heteromyidae en tres estratos del Parque Nacional Montecristo.	58
Figura 15. Dendograma de similitud basado en el índice de Bray-Curtis, (algoritmo UPGMA) que toma en cuenta las abundancias de las diferentes especies de roedores pequeños en tres estratos del Parque Nacional Montecristo.....	63

Figura 16. Resumen de la metacomunidad de especies de las familias Cricetidae y Heteromyidae del Parque Nacional Montecristo.....	66
Figura 17. Partición completa de la diversidad para la metacomunidad de especies de las familias Cricetidae y Heteromyidae del Parque Nacional Montecristo.....	69

RESUMEN

El presente estudio se realizó en el Parque Nacional Montecristo, ubicado en el departamento de Santa Ana, al occidente de El Salvador, durante los meses de septiembre a diciembre de 2018. Se muestreó en tres estratos boscosos dentro del mismo: Bosque nebuloso, bosque pino-roble y bosque seco tropical subcaducifolio o semideciduo.

Para ello se utilizaron 60 trampas tipo Sherman en 18 transectos de 500m de largo aproximadamente, repartidos entre los estratos antes mencionados. El objetivo principal fue determinar la diversidad y composición de roedores de las familias Cricetidae y Heteromyidae.

Se obtuvo un esfuerzo de muestreo de 2,160 noches-trampa con un éxito de captura de 18.19%. Se capturaron un total de 393 individuos pertenecientes a nueve especies. La especie con mayor número de capturas fue *Peromyscus salvadorensis*, la cual se encontró en todos los estratos muestreados.

Los estratos boscosos: nebuloso y pino-roble comparten igual riqueza de especies con seis especies en total; sin embargo, el bosque de pino-roble es más equitativo y por ende, más diverso registrando seis especies. El estrato menos diverso fue el bosque seco, pero posee especies únicas como: *Heteromys salvini*, *Sigmodon hirsutus* y *Ototylomys phyllotis* que no se encontraron en los estratos de mayor altura.

La diversidad de la metacomunidad del Parque Nacional Montecristo está compuesta por la diversidad alfa que equivale a 5.59 especies efectivas, la diversidad beta que equivale a 1.59 comunidades efectivas y la diversidad gamma que equivale a 9 especies efectivas. Estos resultados constituyen el primer estudio de diversidad con roedores de las familias Cricetidae y Heteromyidae para el Parque Nacional Montecristo, el cual servirá de base para futuras investigaciones relacionadas con este grupo de mamíferos.

INTRODUCCIÓN

Los roedores constituyen uno de los grupos de mamíferos con mayores tasas de fecundidad y es el más numeroso a nivel mundial, por su capacidad de rápido crecimiento que tienen sus poblaciones. Se encuentran agrupados en el Orden Rodentia y se caracterizan por poseer, en la parte anterior de la boca, dos incisivos superiores y dos incisivos inferiores, que son grandes, fuertes y curvos. (Priotto & Steinmann, 2018).

Existen pocos estudios específicamente para los roedores pequeños en El Salvador. El Parque Nacional Montecristo, actualmente no cuenta con un listado de especies de roedores de las familias Cricetidae y Heteromyidae.

Dada su importancia ecológica, es imperante conocer que especies están presentes en el parque, por lo que la presente investigación tiene como objetivo general determinar la diversidad y composición de roedores de las familias Cricetidae y Heteromyidae del PNM¹ en el periodo de septiembre a diciembre de 2018.

Esta investigación tiene como producto el listado de especies que habitan en el PNM, así como el análisis de la diversidad de las especies en los diferentes tipos de bosque que presenta el PNM (bosque seco, bosque pino-roble y bosque nebuloso) y la estimación de su abundancia relativa. De esta manera, a futuro se podrá tomar decisiones para su conservación y podrá ser un punto de partida para monitorear cambios en las poblaciones a través del tiempo.

Para ello, se muestreó por medio de transectos lineales en los tres tipos de bosque que posee el PNM. Las capturas se realizaron utilizando trampas tipo Sherman, y cebos con los cuales se capturaron los individuos para observarlos directamente y conocer las distintas especies. Esta investigación constituye el primer estudio para los roedores pequeños del parque, los cuales son invaluable en los procesos ecológicos de los diferentes ecosistemas

¹ Parque Nacional Montecristo

CAPÍTULO I: REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Generalidades

Los roedores son el segundo orden más diverso en cuanto a número de especies de mamíferos registradas en el Neotrópico (incluyendo El Salvador), luego del Orden Chiroptera que son el grupo más diverso de la región. El orden Rodentia, está conformado en su mayoría de las familias Heteromyidae (2) y Cricetidae (21) (Owen & Girón, 2012). Estas especies a menudo se ven con rechazo y se subestima su importancia, debido a la mala fama que tienen las especies domésticas que invaden los hogares, y debido a la poca información que se tiene sobre su importancia ecológica.

1.1.1. El orden Rodentia

Este orden constituye el más numeroso de mamíferos alrededor del mundo. Con casi 2,300 especies, más del 40% de todas las especies de mamíferos pertenecen a este orden (Reid, 2009).

Estas especies son nativas de todas las áreas terrestres excepto la Antártida, Nueva Zelanda y algunas islas árticas y otras islas oceánicas, aunque algunas especies han sido introducidas incluso en esos lugares a través de su asociación con humanos. Este enorme orden de animales abarca 27 familias separadas, que incluyen no solo las "verdaderas" ratas y ratones (familia Muridae) sino también grupos tan diversos como puercoespines, castores, ardillas, marmotas, taltuzas o topos y chinchillas (Musser, 2017, párr.1).

Generalmente poseen un tamaño y peso pequeño, (20 –200g, o 0.7 – 7.05 oz). Dado el gran número de especies que comprende este orden, el grado de diversidad y adaptabilidad, y tendencias evolutivas convergentes, no es sorprendente que las relaciones sistemáticas de muchas familias y subfamilias son complejas y resultan en una colección de subórdenes, superfamilias, subfamilias y tribus (Merrit, 2010).

Los pequeños roedores poseen, una alta tasa de natalidad, y se adaptan muy rápido a los ecosistemas cambiantes. Su nombre deriva del verbo latín *rodere*, que significa “para roer”, en alusión a sus hábitos... Su éxito biológico se atribuye

a varios aspectos: 1) su elevada capacidad para reproducirse; 2) su reducido tamaño que les facilita encontrar una amplia gama de refugios; y 3) su capacidad para explotar una gran variedad de recursos alimenticios (Tzab Hernández y Macswiney González, 2014, p. 12).

1.1.2. Morfología y ecología

Una de las características morfológicas más importantes de los roedores pequeños es su peculiar dentadura. Los incisivos de los roedores no tienen raíces y crecen continuamente. Al roer, estos incisivos friccionan entre sí, la dentina se desgasta y deja el borde del esmalte como hoja de cinceles que evita un crecimiento anómalo. Este sistema de “auto-afilado” es eficaz y clave en el éxito de los roedores. Tanto labios como incisivos forman un mecanismo de utilidad diversa, ya que también pueden construir nidos o excavar madrigueras (Tzab Hernández y Macswiney González, 2014, p. 13).

La mayoría de los roedores tiene 4 dedos en la pata delantera y 5 en la pata trasera. Todos los roedores tienen dientes similares: 2 pares (uno superior, uno inferior) de incisivos, un hueco o diastema y varios pares de dientes masticadores (Reid, 2009).

En cuanto a su ecología, poseen características únicas que les ayudan a éxito biológico: Tienen altas tasas de reproducción, los jóvenes se desarrollan rápidamente (son precoces), su masa corporal es pequeña, la reproducción es prolífica, la esperanza de vida es comparativamente corta y los adultos proporcionan un cuidado parental mínimo a los jóvenes (Merrit, 2010).

Con respecto a sus hábitos Merrit (2010) afirma que la mayoría de las especies de pequeños mamíferos son nocturnas o crepusculares (activas al amanecer y al anochecer) y, por lo tanto, enfrentan la presión de depredación de los depredadores aéreos. Forrajear debajo de la hojarasca, debajo de la nieve (subniveles) o en el ambiente subterráneo ciertamente reduce la vulnerabilidad a la captura desde arriba. Igualmente, el tamaño pequeño ofrece una gama más amplia de tipos de alimentos disponibles.

Los pequeños mamíferos centran su búsqueda en la disponibilidad de recursos para satisfacer sus necesidades energéticas. Algunos mamíferos pequeños, como los

ratones, consumen casi todo lo que entran en contacto, incluidos invertebrados, material vegetal como rizomas, frutas, semillas, hojas, flores, helechos y hongos (Merritt, 2010).

En cuanto al tamaño pequeño, tiene algunas ventajas para ellos, puesto que los cuerpos pequeños son disipadores de calor, debido a su alta relación superficie/volumen deben conservar energía al reducir la pérdida de calor por conducción. Al vivir en túneles subterráneos debajo de los suelos del bosque, debajo de la cubierta de hierba de las praderas, los pequeños mamíferos pueden reducir la pérdida de calor a pesar de las fluctuantes temperaturas ambientales (Merritt, 2010).

1.1.3. Familia Cricetidae

Los individuos de la familia Cricetidae son conocidos como ratas y ratones del nuevo mundo, contiene 681 especies en 30 géneros diferentes, constituyendo una de las familias más grandes de mamíferos. (Reid, 2009). Muchas cricétidos tienen aspecto de ratón o de rata: tienen cuerpos pequeños, algo alargados, y son grises o marrones con colas largas, ojos grandes y orejas y bigotes prominentes. Sin embargo, las formas corporales en este diverso grupo varían (Poor, 2014).

Los cricétidos son diversos en su comportamiento, como lo son en todas sus otras características. Algunas especies pueden ser arbóreas, mientras que otras raras veces abandonan el suelo, y algunas pasan la mayor parte del tiempo excavando sistemas de madrigueras subterráneas. Algunos están adaptados para un estilo de vida acuático y son excelentes nadadores. De igual forma, la mayoría son de hábitos nocturnos, son bastante sedentarios, pero algunos experimentan ciclos de enorme crecimiento poblacional y pueden dispersarse a grandes distancias durante los períodos de abundancia (Nowak, 1999, citado por Poor, 2014).

Los cricétidos son miembros valiosos de muchos ecosistemas, en los que cumplen funciones de depredadores, presas y dispersores de semillas y hongos micorrízicos. Adicionalmente, tienen un gran impacto en la sucesión de los bosques al aprovecharse de las plántulas de árboles, y a veces se consideran especies clave cuando desempeñan tales funciones (Manson *et al.*, 2001, citado por Poor, 2014).

1.1.4. Familia Heteromyidae

Esta familia se caracteriza porque todos los individuos poseen bolsas externas forradas de pelo en la mejilla, que se abren al lado de la boca y se extienden hacia atrás a lo largo de los hombros y son conocidas como abazones. El pelaje de los heterómidos puede variar desde sedoso y suave hasta espinoso, su color varía entre especies y geográficamente dentro de una misma especie. (Myers, 2001).

Los heterómidos se alimentan de semillas y otras partes de plantas, pero a veces también incluyen algo de materia animal. Recogen semillas en las bolsas de sus mejillas y las almacenan en sus madrigueras para su consumo posterior. La mayoría de las especies se excavan, formando complejos sistemas de túneles con múltiples cámaras y aberturas a la superficie. Los miembros del género *Heteromys* se encuentran tanto en bosques tropicales húmedos como secos desde el sur de México hasta el norte de Suramérica. (Myers, 2001).

1.2. Antecedentes

En El Salvador, son pocos los estudios que se han realizado con el orden Rodentia, en especial con los roedores más pequeños (ratones y ratas silvestres). Entre los estudios realizados en el área de investigación se encuentran:

Burt & Stirton (1961), manifiestan que El Salvador aunque pequeño en área es relativamente diverso desde el punto de vista ecológico. Las elevaciones van desde el nivel del mar del lado del Pacífico a los 9000 pies (2743 m) a lo largo de la frontera hondureña. La zonificación va desde tierras bajas áridas tropicales hasta tierras altas húmedas tropicales

Para el caso de especies de roedores pequeños, Burt & Stirton reportan tres familias, con quince géneros en total:

- Heteromyidae (género *Heteromys* y *Liomys*). En el caso del género *Liomys*, estudios filogenéticos recientes utilizando aloenzimas y los genes mitocondriales del citocromo b (Cyt b), manifiestan que el género *Liomys* es parafilético con respecto al género *Heteromys*. Por consiguiente, las especies del género *Liomys* actualmente corresponden al género *Heteromys* (Rogers & Vance, 2005).

- Cricetidae (géneros *Reithrodontomys*, *Peromyscus*, *Baiomys*, *Scotinomys*, *Tylomys*, *Otodylomys*, *Nyctomys*, *Neotoma*, *Rheomys*, *Oryzomys*, *Sigmodon*).
- Muridae (géneros *Rattus* y *Mus*).

Por otro lado, el estudio de Owen & Girón (2012), menciona dos familias: Cricetidae y Heteromyidae, con 15 géneros : *Heteromys*, *Baiomys*, *Liomys*, *Habromys*, *Neotoma*, *Peromyscus*, *Reithrodontomys*, *Scotinomys*, *Oligoryzomys*, *Oryzomys*, *Rheomys*, *Sigmodon*, *Nyctomys*, *Otodylomys* y *Tylomys*. En total se encuentran 24 especies para estos géneros.

1.3. Importancia ecológica

Contrario a lo que la mayoría de personas piensa, no todos los ratones son una plaga; las especies silvestres desempeñan papeles importantes en los ecosistemas, como dispersores de semillas, controladores de plagas y son clave en la dieta de especies carnívoras más grandes.

Existen especies silvestres que son de vital importancia, por ejemplo, la especie *Peromyscus mexicanus* es un removedor y dispersor de semillas en el bosque (Wenny, 2000).

Otros son organismos muy importantes dentro de los ecosistemas ya que proveen de diversos beneficios, por ejemplo, Montero Bagatella y González Romero (2018, párr 4), manifiestan que:

Muchos roedores que rascan el suelo para la construcción de sus madrigueras permiten la aireación del suelo e infiltración de agua, lo cual promueve el crecimiento de las plantas, así como introducen materia orgánica al subsuelo haciéndolos más fértiles. También son grandes dispersores de semillas las cuales transportan y almacenan para su posterior consumo, que en muchas ocasiones éstas semillas son olvidadas, favoreciendo que muchas de ellas germinen y se desarrollen árboles nuevos. También consumen grandes cantidades de insectos que pueden ser considerados nocivos para la agricultura.

Así pues, son importantes en las cadenas tróficas de muchos animales carnívoros como aves rapaces y mamíferos carnívoros. Los roedores con forma de

ratón se consideran los mamíferos pequeños terrestres más importantes, tanto en términos de su efecto sobre el medio ambiente como de un alimento básico para muchos depredadores. (Merritt, 2010).

Cambios en la diversidad y abundancia relativa de estas especies, puede tener un profundo efecto en los depredadores grandes. (Burton & Pacheco, 2016)

1.4. Importancia social

Para la mayoría, los roedores representan una plaga que debe eliminarse, puesto que compite con los seres humanos por recursos. Incluso, pueden ser reservorios de enfermedades serias, como el virus Hanta. Este virus según Wells *et al.* (1997), es un virus que nació en roedores que se cree que se transmite a los humanos primordialmente por la inhalación de aerosoles provenientes de las excreciones de roedores infectados.

Sin embargo, sólo unas pocas especies son plagas o vectores de enfermedades graves (ratón doméstico y rata), pero son estos los roedores los que están más estrechamente asociados con las personas (Musser, 2017).

Esto no siempre fue así, debido a que, para los roedores, los primeros humanos eran simplemente otro depredador que evitar, pero con la transición del *Homo sapiens* de la caza y recolección nómadas a las prácticas agrícolas sedentarias, los humanos se convirtieron en una fuente confiable de refugio y alimento para las especies con habilidades genéticas y de comportamiento innatas para adaptarse a hábitats artificiales (Musser, 2017).

Ejemplo de esta mala reputación se debe a la rata negra y ratón doméstico; que son animales que causan daños materiales y transmisión de enfermedades y pulgas, generan poca simpatía entre los millares de afectados. Pero debe señalarse que estas dos especies han sido introducidas de Europa, desde la época de la conquista, y se han propagado de forma descomunal en los lugares habitados por el hombre. (Serrano, 1995, p. 370).

Los cultivos también pueden verse afectados por roedores, tal es el caso de la rata algodонера. Serrano (1995, p. 371), manifiesta que:

La rata algodonera, muy prolífera y de amplia distribución desde el nivel del mar hasta las tierras altas, a menudo ocasiona daños frecuentes en cultivos como la caña de azúcar, el frijol y otros. El hecho que esta especie siempre se encuentra en áreas abiertas y no en bosques hace sospechar que se trata de una especie invasora que proviene de áreas perturbadas, como la vegetación baja en campos recientes de lava.

Por el contrario, los roedores pequeños han sido de utilidad para los seres humanos en otros campos. Varios roedores son beneficiosos, proporcionando una fuente de alimento a través de la caza y la cría, prendas de vestir derivadas de su pelaje, animales de prueba para biomedicina e investigación genética (especialmente ratones y ratas), y conocimiento sobre la biología de los mamíferos y la historia evolutiva (Musser, 2017).

1.5. ¿Por qué medir la biodiversidad?

Aun cuando en El Salvador se tienen varios estudios de diversidad, es necesario seguir realizando investigaciones en este campo. “Queremos o necesitamos medir la biodiversidad porque, como en cualquier otra ciencia, las medidas permiten describir los componentes del sistema bajo estudio, hacer comparaciones entre sistemas y porque representan la materia prima para generar teorías” (Maclaurin y Sterenly, 2008, citado por Moreno *et al.*, 2011, p. 1250). También, Samo-Lumbreras *et al.* (2008 p. 190), afirma que:

La diversidad biológica es una de las variables más utilizadas en la descripción de las comunidades. Existen muchas formas de estimar esta complejidad y todas ellas son medidas de la diversidad biológica. La complejidad de una comunidad nos da una idea de la cantidad de información que acumula, la cantidad de relaciones posibles que pueden existir en la misma y por tanto, de su estabilidad (cuantas más relaciones sean posibles, mayor es la capacidad de respuesta a una perturbación).

Asimismo, el adecuado conocimiento de la diversidad biológica de un área es el punto de partida para generar políticas de conservación y manejo de las distintas especies de un ecosistema, Moreno (2001, p. 69), expresa:

Evidentemente, cualquier política sólida de conservación debe partir de un conocimiento apropiado de la biodiversidad. Esto se logra a través de proyectos de medición de la biodiversidad que consisten en el muestreo, separación, catalogación, cuantificación y cartografiado de sus entidades, tales como los genes, individuos, poblaciones, especies, hábitats, ecosistemas y paisajes o sus componentes, y en la síntesis de la información resultante para analizar los procesos determinantes.

1.6. Índices y números de Hill

Los números de Hill son una buena alternativa para los análisis de diversidad: En su conjunto, estos tres valores dan una idea clara tanto de la riqueza como de la dominancia y/o equidad de la comunidad. Además, es preferible trabajar con índices como estos que miden entidades biológicas reales y no otras medidas de información, como bits en el caso del índice de Shannon (Moreno, 2001, p. 61).

A continuación, Moreno *et al.* (2011, p.1260), manifiestan las razones del porqué los números efectivos de especies pueden mejorar el análisis de la diversidad alfa:

- 1) Aportan mayor robustez matemática; 2) la concordancia en las medidas con lo que intuitivamente se espera de las medidas de diversidad; 3) la posibilidad de integrar diferentes componentes de la comunidad en función de la abundancia relativa, al modificar el valor del parámetro q ; 4) la sencillez de expresar la diversidad en números efectivos y 5) la posibilidad de hacer comparaciones directas de cuanta biodiversidad se gana o se pierde de una comunidad a otra, independientemente de que haya diferencias estadísticamente significativas.

CAPÍTULO II: DISEÑO METODOLÓGICO

1.1. Tipo de investigación

Debido a la naturaleza de la investigación que se realizó, ésta es mixta (cualitativa y cuantitativa), de tipo descriptiva, se describen las distintas especies que se encuentren en el PNM. Además, se tomaron datos cuantitativos para estimar índices de diversidad. El diseño de la investigación es no experimental y longitudinal.

1.2. Descripción del área de estudio

1.2.1. Ubicación.

De acuerdo a la descripción de MARN (2016, párr 2):

El Parque Nacional Montecristo, se ubica en la formación volcánica antigua sobre el macizo de Montecristo, cordillera Metapán-Alotepeque, en el municipio de Metapán, departamento de Santa Ana, a 117 km de San Salvador, localizada en la región noroeste de El Salvador. Tiene una extensión de 1,973 hectáreas y una altitud que va de desde los 800 a 2,418 msnm. Posee un vértice superior que marca las fronteras de Honduras, Guatemala y El Salvador, conocido como Punto Trifinio. El Punto Trifinio es el punto más alto y tiene 2,418 *msnm*.



Figura 1. Mapa del Parque Nacional Montecristo Trifinio Fraternidad.
Elaborado por: Katherine Agreda

1.2.2. Características biofísicas

Según el Plan de Manejo del Parque Nacional Montecristo MARN (2016, p.9):

El Macizo Montecristo presenta una hidrografía constituida por corrientes de ríos, riachuelos y quebradas que forman un drenaje dendrítico. Las características del suelo y la topografía del área núcleo de Montecristo, facilitan un buen drenaje, que da lugar al nacimiento de una gran cantidad de ríos que abastecen de agua a las comunidades circunvecinas.

En el sector montañoso, los suelos se clasifican como de tipo VIII a VI, y se relacionan con suelos de altas pendientes, suelos poco profundos con planicie de coluvio-aluviales² y cuya vocación es forestal o para cultivos permanentes. La mayor parte de los suelos de la parte alta (por encima de los 1800 *msnm*) tienen limitaciones que los restringen a un uso destinado a zonas recreativas, a reserva de fauna, o bien con fines de protección.

1.2.3. Descripción de los estratos

- Bosque nebuloso:

“En la cima del Cerro de Montecristo y por encima de los 1800 *msnm*, hay una formación continua de bosque nebuloso o nuboso que corresponde al Bosque Montano Húmedo de América Central, es una ecorregión clasificada como vulnerable” (WWF 2010, citado por MARN, 2016, p.10).

La precipitación es de 2000 a 4000 mm anuales. El Bosque se caracteriza por presencia de epífitas, bromelias y orquídeas de diferentes especies, helechos arborescentes y herbáceos, árboles como aguacate de montaña (*Ocotea sinuata*), cipresillos (*Podocarpus oleifolius*) y otros como el encino (*Quercus tristis*), pino lacio (*Pinus pseudostrobus*), pino cahuite (*Pinus ayacahuite*) (MARN, 2016).

Entre la fauna se identifican especies endémicas como la salamandra (*Bolitoglossa heiroreias*) registrada sobre los 1800 *msnm* y el dragoncillo (*Abronia montecristoi*), que es endémica del sureste de Honduras y noroeste de El Salvador

² Los depósitos coluviales están formados por fragmentos de roca desordenados, desprendidos de las alturas y depositados pendiente abajo, la mayoría de las veces por acción de la gravedad. Se observan en regiones montañosas o con pendientes pronunciadas. Tomado de Sanzano, A. (2019). *El transporte y depósito del material*. Universidad Nacional de Tucumán.

y que ocurren en los bosques nubosos entre los 2150 a 2210 *msnm*. Las aves que caracterizan al bosque nuboso es el quetzal centroamericano (*Pharomachrus mocinno*). (MARN, 2016, p.10).

Este bosque es captador de agua y regulador, por condensación de la humedad ambiental. Las amenazas de este bosque nuboso es el avance de la frontera agrícola por el lado de Guatemala y Honduras. Debido a la paulatina destrucción del bosque por la expansión de la caficultura y los cambios de uso del suelo. (MARN, 2016, p.10).

Según Murillo Contreras (2002), el Bosque Nebuloso presentó una especie dominante: la tilia cimarrona (*Symplocarpon purpusii*) y más del 50% de sus especies estuvieron representadas por dos individuos o menos.



Figura 2. Bosque nebuloso del Parque Nacional Montecristo.
Fuente: propia.

- Bosque de pino-roble:

“El otro tipo de bosque que existe es el Bosque de pino-roble de Centroamérica, se encuentra entre los 900 a 1800 *msnm* y se encuentra en estado crítico y en peligro” (WWW, 2010, citado por MARN, 2016, p.10).

El rango de ocurrencia es inferior a 1800 *msnm* y superior a 1400 *msnm*. Las especies dominantes de este tipo de bosque son pino amarillo (*Pinus*

oocarpa), pino ocote (*Pinus tecunumanii*), encino (*Quercus ocata*), roble negro (*Quercus pendularis*) y roble blanco (*Quercus hondurensis*) (MARN, 2016, p.10).

En relación a la fauna se han reportado más de 190 especies de aves de las cuales 21 son endémicas en particular el chipe cacheti-dorado (*Setophaga chrysoparia*). La fauna tiene registrado venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), cuzuco (*Dasypus novemcinctus*), pezote (*Nasua narica*), desempeñando funciones de polinización y dispersión de semillas. Estos bosques son claves para las aves migratorias. La amenaza de este tipo de bosque es del aprovechamiento de la madera de pino y encino con fines maderables y de leña. (MARN, 2016, p.10).

El Bosque Pino-Roble presentó dos especies dominantes: el encino hojas de zapote (*Quercus sapotifolia*) y pino amarillo (*Pinus oocarpa*) y el 50% de sus especies estuvieron representadas por uno o dos individuos. (Murillo Contreras, 2002). El estudio de Murillo Contreras (2002, p.37) también resalta que:

La diversidad en el Bosque Pino-Roble y el Bosque Nebuloso fue similar, por lo que no se debe hacer discriminaciones en la conservación de uno sobre otro, pues siempre ha existido la creencia que el bosque nebuloso posee mucha más diversidad florística. En este estudio se pudo demostrar que al menos en especies arbóreas, las diferencias entre ambas comunidades no son estadísticamente significativas.



Figura 3. a) Fotografía del sustrato en el bosque de pino-roble. b) Vista panorámica del bosque pino-roble en el Parque Nacional Montecristo.

Fuente: propia.

- Bosque seco:

El Bosque Mixto y el Bosque Seco Tropical o Bosque Caducifolio, comprende de los 805 hasta 900 *msnm*. En este Bosque se han registrado especies como el conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), madrecaao (*Gliricidia sepium*) y jiote (*Bursera simaruba*). Entre los mamíferos se menciona al mapache (*Procyon lotor*), la cotuza (*Dasyprocta punctata*), el cuzuco (*Dasyopus novemcinctus*). Las amenazas que presentan estos bosques son los incendios y la cacería. (MARN, 2010, p.10).

El Bosque Seco de Montecristo ha sufrido en el pasado intervenciones humanas específicamente para agricultura y en forma reciente incendios en los límites del parque que en algunas ocasiones ingresan al área del parque. Sin embargo, se sugiere que es un bosque diverso en comparación con datos de otros bosques secos de la región de Centroamérica. (Cardoza, 2011, p. 69).



Figura 4. Fotografía del bosque seco del Parque Nacional Montecristo.
Fuente: Edgardo Zúniga

1.3. Universo, población y muestra

1.3.1. Universo:

Todas las especies de mamíferos roedores de las familias Cricetidae y Heteromyidae presentes en El Salvador.

1.3.2. Población:

Las especies mamíferos roedores de las familias Cricetidae y Heteromyidae del departamento de Santa Ana.

1.3.3. Muestra:

Las especies de mamíferos roedores de las familias Cricetidae y Heteromyidae del Parque Nacional Montecristo.

1.4. Instrumentos y técnicas de investigación

1.4.1. Método de muestreo

El tipo de muestreo que se utilizó fue estratificado por transectos por conveniencia, en cada uno de los tres estratos altitudinales del Parque Nacional Montecristo (bosque tropical subcaducifolio, bosque pino-roble y bosque nebuloso).

El muestreo estratificado se caracteriza por usar información auxiliar que permite agrupar a los elementos que componen la muestra en estratos diferenciados. Los elementos que componen un estrato son parecidos dentro del estrato y los estratos son agrupaciones distintas entre sí. La lógica que subyace al muestreo estratificado es que agrupando los elementos en estratos homogéneos es posible mejorar la precisión y minimizar el costo respecto a selección mediante muestreo aleatorio simple (Vivanco, 2005, p.81).

Se realizaron seis transectos en cada estrato distribuidos por conveniencia, debido a la topografía accidentada del lugar y de acuerdo a la accesibilidad del mismo.

1.4.2. Caracterización de los transectos

Se realizaron seis transectos, por cada tipo de estrato, con un total de 18 transectos a lo largo del PNM. Cada transecto constó de 500m de longitud aproximadamente, con 10m de ancho, ubicando 30 estaciones en cada transecto. Las estaciones de trampeo fueron ubicadas con 15m de distancia y cada estación estuvo compuesta por dos trampas. La distancia entre transectos se separó al menos 100m entre cada uno y se georreferenciaron de principio a fin. Así también se realizó una réplica de muestreo en cada uno.

Se trabajó un estrato semanalmente por conveniencia, debido a la falta de recursos tanto de personal como de transporte, se imposibilitó muestrear los tres estratos que compone el PNM simultáneamente.

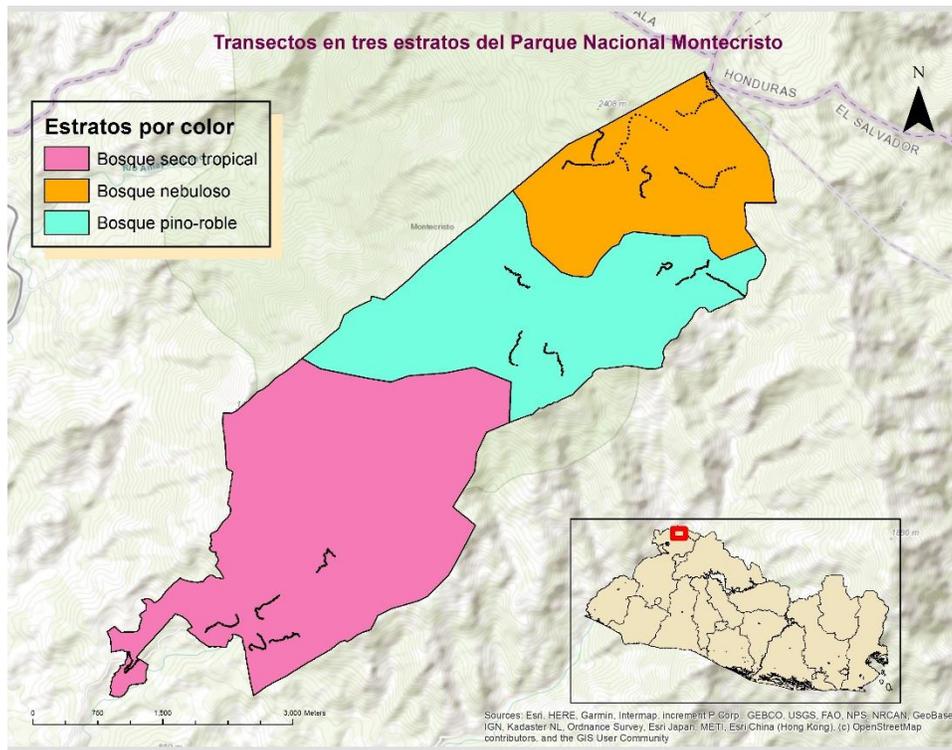


Figura 5. Distribución de transectos en los tres estratos del Parque Nacional Montecristo. Elaborado por: Katherine Agreda

1.4.3. Captura de individuos

Una de las metodologías más comunes para el muestreo de roedores pequeños es el uso de trampas tipo Sherman. Estas trampas tienen forma rectangular; pueden ser plegadizas; son de aluminio o lámina galvanizada. En el centro de la base del piso tienen una lámina que al pisarse acciona un sistema de resorte que cierra la puerta de entrada de la trampa, de manera que el animal queda atrapado sin sufrir daños. (Romero - Almaraz, *et al.*, 2007).

En este tipo de trampas debe utilizarse un cebo, que deberá ser cambiado diariamente. Las trampas en general se colocan el primer día al amanecer o por la tarde y son recibadas diariamente al momento de revisarlas o al atardecer. (Romero - Almaraz, *et al.*, 2007).

Para la captura de los individuos se utilizaron 60 trampas tipo Sherman de aluminio plegables de 7.26 x 8.89 x 22.86 cm por noche, las cuales se colocaron por pares en los transectos lineales cada 15m (ver fig. 6). Cada punto en que se colocó una trampa se señaló con flagging tape para evitar su extravío.

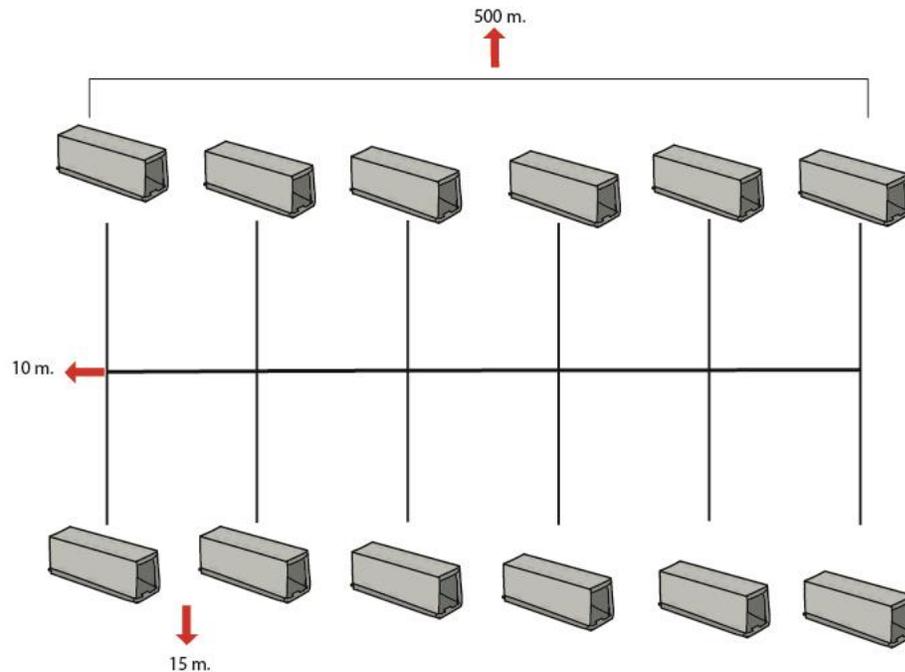


Figura 6. Esquema de la disposición de trampas Sherman en cada uno de los transectos colocados en tres estratos del Parque Nacional Montecristo.

Fuente: Paola Agreda.

Además, se georreferenció cada estación de muestreo, a lo largo de cada transecto. Cada trampa se ubicó a nivel del suelo al lado de raíces, huecos o corredores donde posiblemente se desplacen para forrajear. Finalmente se colocó sustrato del suelo, como hojarasca o pequeñas ramas encima de las trampas, con el fin de camuflar cada trampa y que éstas no fuesen detectadas fácilmente, así como una forma de evitar reflejo o fácil detección de la trampa por parte de las especies de interés.

Las trampas se colocaron por la tarde entre 4:00pm – 5:00pm, se dejaron toda la noche y se revisaron la mañana siguiente entre 5:30am – 9:00am. El horario de revisión se establece de esa forma para evitar que los individuos mueran de hambre, frío, ataque de insectos (especialmente hormigas), entre otros factores que pueden afectarles en la trampa.

Es necesario recalcar que mientras todas las especies de la familia Heteromyidae son nocturnas, algunas especies de la familia Cricetidae como *Scotinomys teguina* y *Sigmodon hirsutus* poseen también hábitos diurnos (Reid, 2009). A fin de estandarizar el esfuerzo de muestreo, debido al recurso humano disponible y para evitar el hurto y pérdida de trampas, no se dejaron las trampas en horas diurnas en los diferentes estratos. Sin embargo, si los recursos lo permiten, es importante conocer los hábitos particulares de estas especies.

Para atraer a los roedores, como cebo se utilizó una mezcla de mantequilla de maní, avena y vainilla líquida, puesto que se ha comprobado que es uno de los más efectivos (Hice y Velazco, 2013; Muñoz-Prederos y Yañez, 2000, citado por Perú. Ministerio del ambiente, 2015). Con esta mezcla se elaboraron pequeñas bolitas aproximadamente de 4cm de diámetro cada una, y se colocó una en el interior de cada trampa.

Luego de realizar el muestreo, las trampas se enjuagaron con agua todos los días, para eliminar suciedad, excreciones y posibles olores que puedan afectar la captura de individuos.

1.4.4. Manipulación e Identificación de individuos

Los individuos capturados, fueron procesados (manipulados y marcados) en el sitio de captura, para luego liberarlos en el mismo lugar. Para observar las capturas, se utilizó una bolsa tipo Zyploc transparente, la cual se colocó alrededor de una compuerta de la trampa Sherman realizando una leve sacudida, para poder sacar al animal de su interior.

Se procedió a pesar el animal con un dinamómetro marca Pesola de 300g. Luego, utilizando un guante de cuero, se sacó al animal de la bolsa, tomándolo suavemente por la parte dorsal y una vez fuera, con la ayuda del Guardarrecurso se procedió a tomar las siguientes medidas: pata posterior, longitud del cuerpo, longitud de la cola y longitud de oreja; las cuales ayudaron para determinar la especie de cada roedor.

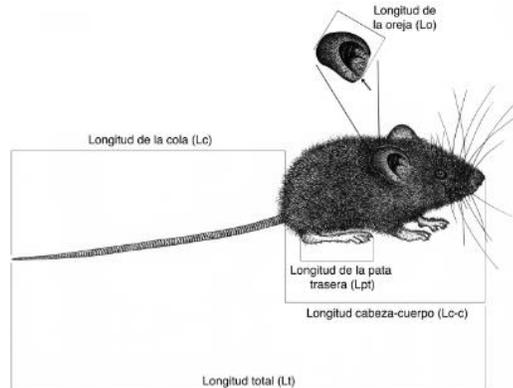


Figura 7. Medidas tomadas para la clasificación de los roedores pequeños.

Fuente: Clave para la Identificación de los Roedores de Costa Rica, Villalobos, *et al.* (2016).

Como guías de Identificación se utilizó a Reid, (2009); Álvarez-Castañeda, Álvarez, & González-Ruiz, (2017) y Villalobos *et al.* (2016).

1.4.5. Marcaje de individuos

El objetivo de marcar animales es permitir su identificación posterior, y el método que se emplee debe ser lo menos doloroso posible y no disminuir la actividad normal del individuo (Romero – Almaraz, *et al.*, 2007).

Para marcar los individuos se usó un método no invasivo con un colorante de la marca Stone Tatroo Ink, color verde, el cual es de uso veterinario, ya se han realizado marcajes en murciélagos y no tóxico y es de gran durabilidad.

Así pues, este es un producto utilizado para hacer tatuajes, con maquinaria especializada, no obstante, se han realizado pruebas pintando una región en el pelaje y piel de otros mamíferos, como murciélagos o perros, con una durabilidad de un mes y medio aproximadamente, siempre y cuando el área esté bien cubierta de pelo.

1.4.6. Método de eutanasia para los roedores.

La presente investigación, no tuvo como objetivo sacrificar todos los individuos que se capturen en las trampas Sherman. Sin embargo, existen géneros, especialmente dentro de la familia Cricetidae en los que es muy difícil hacer la identificación a nivel de especie solamente utilizando las claves taxonómicas antes mencionadas, por lo que es necesario la colecta de especímenes, para luego ser identificados por un experto en la materia que sea capaz de reconocer las

características distintivas de cada especie, por medio de estructuras anatómicas como el cráneo.

Existen varios métodos para practicar la eutanasia en los roedores, pero se optó por escoger uno que fuese rápido, económico y cause el menor dolor posible.

Según los experimentos de Hackbarth, Küppers & Bohnet, (2000), la eutanasia provocada por este gas (cámara de CO₂) no produjo signos de angustia en los ratones por cambios conductuales u hormonales. Se debe suponer que el método descrito de eutanasia está en concordancia con el bienestar animal, conduce a una muerte rápida sin angustia o dolor intensos.

Se eligió este método, ya que los materiales a utilizar son económicos y fáciles de conseguir, frente a otros métodos cuyas sustancias son más volátiles y requieren permisos especiales para adquirirlas. Este método consiste en una cámara de dióxido de carbono (CO₂) (ver fig. 8) que consta de dos recipientes herméticos, conectados entre sí por un tubo.

Un recipiente contiene el individuo a sacrificar, mientras en el otro se verterán aprox. 20g de bicarbonato de sodio. Luego de verificar que no se encuentre ninguna fuga en la cámara de CO₂ se vierten lentamente aproximadamente 50ml de ácido acético comercial o vinagre, lo que provocará la reacción química que produzca el dióxido de carbono. El ratón queda inconsciente en alrededor de dos minutos.

Es importante mencionar, que debe verificarse que la cámara no presente fugas, de lo contrario la técnica pierde efectividad y debe buscarse otro método como la asfixia por compresión del tórax.

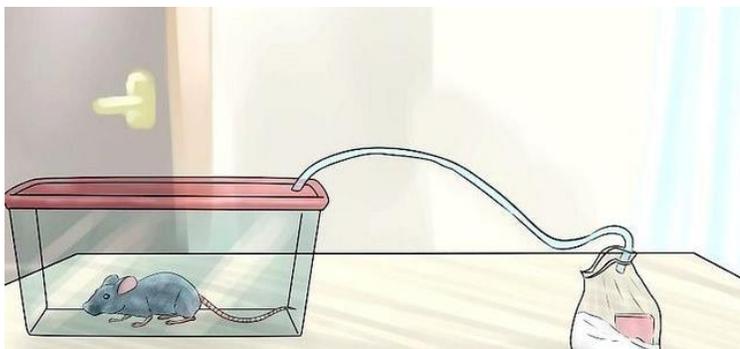


Figura 8. Cámara de CO₂ para la eutanasia en ratones.

Fuente: wikiHow (s.f.) <https://es.wikihow.com/matar-sin-crueldad-a-un-roedor#/Imagen:Humanely-Kill-a-Rodent-Step-4-Version-3.jpg>

1.4.7. Preparación de pieles.

Se procedió a realizar la preparación de las pieles de los animales sacrificados. Esta preparación se realizó en campo, en el sitio de la colecta luego de que los roedores fueron sacrificados, para aprovechar que los especímenes estaban frescos y son más fáciles de trabajar.

Los materiales biológicos de los especímenes colectados: tanto pieles, cráneos, órganos internos y tejidos de músculo fueron entregados al Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), para ser ingresados a la colección de mastofauna del mismo, y de esta manera puedan realizarse otras investigaciones científicas utilizando estos recursos.

La preparación de pieles se realizó según la metodología modificada de Hall (1962, 1981) y Yates et al. (1996) citado por Romero-Almaraz *et al.* (2007, p.73):

Una vez tomadas las medidas estándares, el espécimen se coloca con el vientre hacia arriba sobre una charola y se le hace una incisión longitudinal desde la parte media del vientre o la altura final del esternón hasta la parte anterior de los genitales. Para evitar cortar los músculos del abdomen, debe levantarse un poco la piel y cortarla con unas tijeras de punta fina. La piel se separa de los músculos del cuerpo empujándola cuidadosamente con unas pinzas de punta roma; primero hacia los lados y después hacia las extremidades inferiores, que se separan jalándolas con las pinzas y dedos. Finalmente, se corta la piel al nivel de la articulación de la pelvis (murciélagos) o tarsos (mamíferos terrestres).

Para separar la cola de la piel del espécimen, se quita la grasa de la base hasta que se vean claramente las primeras vértebras caudales, las cuales se sujetan con una pinza de disección y, con otras pinzas o con las uñas, se jala firmemente la cola, permitiendo que la piel se deslice sobre las vértebras.

Para despegar la piel del cráneo, se limpia el tejido graso y glandular del cuello y del área auditiva para que la base de las orejas quede libre, y se corta lo más pegado posible al cráneo. Cuando las dos orejas están libres, se continúa hasta el borde posterior de los ojos; la piel de las órbitas se separa sin cortar el globo ocular o desgarrar los párpados.

Posteriormente la piel se separa hasta los labios, y se corta cuidadosamente en la base de los tejidos que unen las vibrisas, para no cortarlas y que no se desprendan del rostro. Se continúa con los labios hasta llegar al cartílago que une la nariz al rostro, teniendo cuidado de no cortar los nasales (sobre todo en los roedores), y al cortar el cartílago el cuerpo queda separado de la piel.

Para rellenar la piel se hace un rectángulo de algodón de tamaño aproximado al cuerpo del espécimen; dos de las puntas del rectángulo se doblan hacia el centro para formar un triángulo. Con ayuda de las pinzas se toma el algodón por el vértice del triángulo y se coloca de frente a la parte bucal de la piel; entonces se empuja suavemente con ayuda de las pinzas a fin de que ésta se deslice sobre el algodón y se voltee por completo para quedar otra vez con el pelo hacia la parte externa. La abertura que se le haga a la piel se cose en zigzag.

Como agente secante de las pieles se utilizó aserrín. Simultáneamente, se pusieron al sol, debidamente cubiertas con una malla tipo mosquitero, para evitar que los insectos no puedan contaminar las pieles.

Se utilizó hilo de algodón color blanco y negro. Al inicio se fija el hilo en un extremo de la parte posterior de la piel, y se dan puntadas del lado izquierdo al derecho sin jalar el hilo, hasta que se llega al extremo final en la parte anterior de la abertura. Entonces el hilo se hala de manera firme para que la piel se junte y no quede fruncida; finalmente se hace un nudo pequeño para que no vuelva a separarse.

Finalmente se coloca la viñeta a la piel, sujetándolo arriba del tobillo de la pata derecha. Esta viñeta contiene la información del colector y un código único que se asigna a cada espécimen. Así pues, contiene la fecha, coordenadas geográficas, sexo y las medidas: medida total, medida de cola, pata trasera, medida de oreja y peso en gramos.

1.4.8. Preparación de cráneos.

Luego de quitar la piel, también se colectaron los cráneos de los roedores puesto que son de vital importancia a la hora de identificar cada especie, analizando sus propias estructuras y características de la dentadura. Para esto se procedió en base a la guía de E. Raymond Hall (1962):

Los cráneos se separaron de la columna vertebral, con extremo cuidado para no dañar el cráneo. Tan pronto como fue posible, los cráneos se colocaron en un recipiente de vidrio con agua fría para remojarlos durante 12 horas, para extraer la sangre y aflojar el cerebro.

Después de quitar los cráneos del agua, se retiraron cuidadosamente los restos de cerebro con ayuda de una aguja hipodérmica. Luego, se pusieron a secar al aire, protegidos con una malla tipo mosquitero, para evitar moscas u otro tipo de insecto que pueda dañarlos.

Finalmente se colocó su respectiva viñeta amarrada en la mandíbula inferior, la cual al igual que la piel contendrá el código correspondiente del espécimen.

1.4.9. Órganos internos.

Los órganos internos: corazón, hígado, riñones, y una porción de músculo de las extremidades anteriores y posteriores de todos los individuos que fueron sacrificados; se preservaron separadamente dentro de tubos Eppendorf, debidamente rotulados de 5.0 ml, en una solución de etanol al 90%. Estos tejidos también fueron entregados al MUHNES, junto con las pieles y cráneos para ser ingresados a la colección de referencia de mamíferos del mismo.

1.5. Fase de recolección de datos

La fase de campo en la que se recolectarán los datos sobre los roedores comprendió los meses de septiembre a diciembre de 2018, finalizando la época lluviosa en transición a la época seca. Se realizaron tres visitas al PNM por mes, las cuales consistieron en tres noches de muestreo con la metodología antes descrita.

Los datos se anotaron en fichas con los datos de cada individuo (peso, medidas, sexo, especie) el lugar donde fueron encontrados, número de transecto y número de trampa y la coordenada geográfica de cada trampa donde se obtuvo una captura. La ficha que se utilizó está basada en la que se encuentra en Romero-Almaraz *et al.* (2007) y modificada para esta investigación.

1.6. Procesamiento y análisis de datos

Los datos recolectados durante la fase de campo fueron organizados en hojas de Excel, para luego procesarlas en programas estadísticos, que generaron los resultados.

La riqueza de especies (S) se obtuvo a través del conteo directo de especies que se registraron para cada estrato. El esfuerzo de muestreo se calculó como noches-trampa multiplicando el número de trampas utilizadas por noche, por el total de noches de muestreo; asimismo el éxito de trampeo, que se refiere al porcentaje de trampas con especímenes capturados, se calculó dividiendo el total de capturas entre el número de noches-trampa por estrato. (Romero - Almaraz, Sánchez- Hernández, García- Estrada, & Owen, 2007).

“La abundancia relativa se entiende como el porcentaje que cada especie atribuye al número total de individuos de todas las especies” (Smith & Smith, 2007, pág. 351), fue calculada dividiendo la abundancia de cada especie que se encontró en cada uno de los estratos, entre la sumatoria de las abundancias de todas las especies encontradas.

Para comparar la riqueza de especies y sus abundancias relativas se elaboraron diagramas de rango-abundancia o curvas de Whittaker que permiten visualizar la diversidad en términos de equitatividad. Según Smith & Smith (2016, p. 351):

La especie más abundante estará representada primero en el eje x, con su correspondiente valor en el eje y, que es el valor de la abundancia relativa. Este proceso se continúa hasta que se representan todas las especies. El gráfico resultante se denomina diagrama rango-abundancia... La mayor riqueza de especies se refleja por la mayor extensión de la curva de rango-abundancia (número de especies) y la distribución más equitativa de los individuos de cada especie (equitatividad de la especie) se indica por el gradiente más gradual de la curva rango-abundancia.

Para determinar la integridad del muestreo que permite evaluar la calidad del inventario, se utilizó el programa Inext online, versión original (2016), en el que se generaron curvas basadas en la cobertura de la muestra.

Para establecer la diversidad de orden q, se utilizó el programa SpadeR, mientras para el cálculo de los demás índices de diversidad biológica, se utilizó el programa PAST 3x. La mayoría de estos, se eligieron basándose en el manual de Inventarios de Biodiversidad propuestos por MARN (2004). Los índices utilizados se listan como se describe en Moreno (2001):

Para la medición de la riqueza específica:

- Índice de diversidad de Margalef

$$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N}$$

Donde:

S = número de especies

N = número total de individuos

Transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra. Supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos $S=k\sqrt{N}$ donde k es constante (Magurran, 1998, citado por Moreno, 2001, p.29).

“Si esto no se mantiene, entonces el índice varía con el tamaño de muestra de forma desconocida. Usando $S-1$, en lugar de S, da $DMg = 0$ cuando hay una sola especie”. (Moreno 2001, p.29).

- Rarefacción

Permite hacer comparaciones de números de especies entre comunidades cuando el tamaño de las muestras no es igual. Calcula el número esperado de especies de cada muestra si todas las muestras fueran reducidas a un tamaño estándar, es decir, si la muestra fuera considerada de n individuos ($n < N$). (Moreno, 2001, p.31).

$$E(S) = \sum 1 - \frac{(N - N_i)/n}{N/n}$$

E(S) = número esperado de especies

N = número total de individuos en la muestra

N_i = número de individuos de la i ésima especie

n = tamaño de la muestra estandarizado

Los índices basados en la dominancia son parámetros inversos al concepto de uniformidad o equidad de la comunidad. Toman en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies. (Moreno, 2001, p.44). Se utilizó:

- Índice de Simpson

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Dónde: p_i = abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra. Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie.

- Serie de números de Hill

$$N_A = \sum (p_i)^{1/(1-A)}$$

“Es una serie de números que permiten calcular el número efectivo de especies en una muestra, es decir, una medida del número de especies cuando cada especie es ponderada por su abundancia relativa” (Hill, 1973; Magurran, 1988, citado por Moreno, 2001, p.44). De toda la serie, los más importantes son:

N_0 = número total de especies (S)

N_1 = número de especies abundantes = $e^{H'}$

N_2 = número de especies muy abundantes = $1/\lambda$

Para calcular la equidad de las especies, se utilizó el índice:

- Índice de Shannon-Wiener

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

“Expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección” (Magurran, 1988;

Peet, 1974; Baev y Penev, 1995, citado por Moreno, 2001, p.46). “Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S, cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos” (Magurran, 1988, citado por Moreno, 2001, p.46).

Para el cálculo de la diversidad β , se utilizó el índice de similitud de Bray-Curtis, el cual toma valores entre cero y uno. “Un valor de 1 indica una coincidencia completa para dos comunidades” (Schulz, 2007, párr. 5). “Se considera una extensión del índice de Sørensen basado en la abundancia” (Baselga, 2013, p. 2).

Su fórmula es:

$$\begin{aligned}
 d_{BC} &= \frac{\sum_i |x_{ij} - x_{ik}|}{\sum_i x_{ij} + x_{ik}} \\
 &= \frac{\sum_i x_{ij} + x_{ik} - 2 * \min(x_{ij}, x_{ik})}{\sum_i x_{ij} + x_{ik}} \\
 &= \frac{B + C}{2A + B + C}
 \end{aligned}$$

Dónde x_{ij} es la abundancia de especies i en el sitio j , y x_{ik} es la abundancia de especies i en el sitio k . Por lo tanto, A es el número de individuos de cada especie que existe en ambos sitios j y k , mientras que B y C son el número de individuos que son únicos a los sitios j y k respectivamente. (Baselga, 2013, p. 2).

Para la partición de la diversidad en sus componentes alfa, beta y gamma se utilizó el paquete entropart versión 1.6-1 del programa R versión 3.6.1 (2019). Finalmente, para la elaboración de los mapas del muestreo se utilizó el programa ArcGis versión 10.1.

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados generales

3.1.1. Esfuerzo de muestreo

Para este estudio se obtuvo un esfuerzo de muestreo total de 2,160 trampas-noche. Las trampas-noche son la medida del esfuerzo de muestreo para los mamíferos pequeños, y está definida como el número de trampas por el número de noches que fueron puestas (60 trampas x 36 noches de muestreo para este estudio). Esta unidad estandarizada permite la comparación entre diferentes estudios (Burton & Pacheco, 2016).

El éxito de trampeo total fue del 18.19%, mientras que el éxito de trampeo por estrato fue: para el bosque nebuloso 21.39%, para el bosque de pino-roble 29.72% y para el bosque seco tropical subcaducifolio del 3.47%.

El éxito de trampeo en los tres estratos muestreados puede parecer bajo, ya que ninguno sobrepasa el 50%, sin embargo; este valor puede variar mucho alrededor del mundo. Por ejemplo, el muestreo de ratas en la Península de Yucatán puede fácilmente alcanzar el 50% de éxito en cualquier noche dada (Burton & Pacheco, 2016).

En otros estudios que igualmente utilizaron trampas Sherman este porcentaje es variable. López-Arévalo, Montenegro-Díaz, y Cadena, (1993) sostienen que en un estudio realizado en La Reserva Biológica Carpanta, Municipio de Junín, en el Departamento de Cundinamarca, Colombia se obtuvo un esfuerzo total de 7000 trampas-noche, en un tiempo de 35 noches. Se obtuvieron 302 capturas totales con una efectividad de trampeo del 4.31%. Por consiguiente, el éxito de trampeo total para el presente estudio resultó ser efectivo.

3.1.2. Especies encontradas y su estado de conservación

Durante la fase de campo del estudio, se capturaron un total de 393 individuos, del orden Rodentia correspondiendo a las familias de ratones nativos Cricetidae y Heteromyidae. De éstas se registraron 7 géneros con 9 especies en tres estratos del Parque Nacional Montecristo: Bosque nebuloso, bosque pino-roble y Bosque seco

tropical semidecídulo o subcaducifolio. Se descartó una recaptura de la especie *Peromyscus salvadorensis* en el bosque nebuloso.

Dentro de los tres estratos mencionados el bosque pino-roble obtuvo el 54.45% de las capturas (ver tabla 1), seguido del bosque nebuloso con el 39.19% y finalizando con el bosque seco con el 6.36%.

Tabla 1. Porcentaje de abundancia relativa de las capturas por sitios de muestreo.

Sitios	Número de capturas	Número de especies	%Abundancia relativa
Bosque nebuloso	154	6	39.19
Bosque pino-roble	214	6	54.45
Bosque seco tropical subcaducifolio	25	4	6.36
Total general	393	9	100

De las especies registradas, siete pertenecen a la familia Cricetidae, las especies restantes (2) pertenecen a la familia Heteromyidae (ver tabla 2). La especie más abundante del total de capturas fue *Peromyscus salvadorensis* con el 41.98% de estas. En cambio, la especie menos abundante fue *Otodylomys phyllotis* ya que solo se capturaron dos individuos de esta especie con el 0.51% del total de capturas.

Tabla 2. Listado de las especies que se registraron durante el periodo de estudio, y su estado de conservación según la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN).

Familias	Géneros	Especies	N	%	Estado de conservación de la especie
Cricetidae	<i>Peromyscus</i>	<i>Peromyscus salvadorensis</i>	165	41.98	Preocupación menor (LC)
Cricetidae	<i>Peromyscus</i>	<i>Peromyscus aztecus</i>	82	20.87	Preocupación menor (LC), Amenazada*
Cricetidae	<i>Scotinomys</i>	<i>Scotinomys teguina</i>	24	6.11	Preocupación menor (LC)
Cricetidae	<i>Reithrodontomys</i>	<i>Reithrodontomys mexicanus</i>	7	1.78	Preocupación menor (LC)
Cricetidae	<i>Handleyomys</i>	<i>Handleyomys saturator</i>	5	1.27	Casi amenazada (NT), Amenazada*
Cricetidae	<i>Otodylomys</i>	<i>Otodylomys phyllotis</i>	2	0.51	Preocupación menor (LC)
Cricetidae	<i>Sigmodon</i>	<i>Sigmodon hirsutus</i>	5	1.27	Preocupación menor (LC)
Heteromyidae	<i>Heteromys</i>	<i>Heteromys desmarestianus</i>	89	22.65	Preocupación menor (LC)

Heteromyidae	<i>Heteromys</i>	<i>Heteromys salvini</i>	14	3.56	Preocupación menor (LC)
2	7	9	393	100	-

Se muestra el total de capturas con su correspondiente porcentaje. * Criterio según el listado oficial de especies de vida silvestre amenazada o en peligro de extinción en El Salvador. (MARN, Acuerdo No 74, 2015, pág. 10).

Los estudios de Burt & Stirton (1961); Felten (1958) citado por Burt & Stirton, 1961); Owen *et al.* (1991), y más recientemente Owen y Girón (2012), son los únicos trabajos disponibles que documentan la presencia de especies de las familias Cricetidae y Heteromyidae para el área. Los resultados encontrados en el presente estudio se consideran de mucha relevancia, ya que representan el primer estudio de diversidad como tal que proporcionara nuevos datos sobre la composición de roedores del parque. Así mismo, existen pocos estudios de diversidad de estas familias en las demás áreas naturales de El Salvador.

En el listado más reciente de Owen & Girón publicado en el 2012, se confirmaron los registros de 10 especies de las familias Cricetidae y Heteromyidae en el Parque. Para este estudio, no se encontraron las especies: *Habromys lophurus*, que está en la categoría casi amenazada³, *Reithrodontomys sumichrasti*, *Olygoryzomys fulvescens* y *Nictomys sumichrasti*. Cabe recalcar que no se asume que estas especies no estén presentes en el Parque, ya que el hecho de no capturarlos pudo ser producto de diversos factores, como la estacionalidad en la que se realizó el muestreo.

Dentro de las especies encontradas en el muestreo, es de importancia resaltar dos especies que se encuentran en el listado oficial de especies de vida silvestre amenazada o en peligro de extinción en El Salvador. (MARN, Acuerdo No 74, 2015) en la categoría “amenazadas”, éstas son: *Peromyscus aztecus* y *Handleyomys saturatior*, éstas se encontraron en los estratos medio y alto del Parque, por lo que es de importancia conservar dichos ecosistemas.

³ Emmons, L. & Vázquez, E. 2019. *Habromys lophurus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019:e.T9610A22376801. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.20193.RLTS.T9610A22376801.en>.

Así también la especie *Handleyomys saturator* se encuentra bajo la categoría casi amenazada (NT) según la Lista Roja de la IUCN⁴ ya que sus poblaciones están disminuyendo, no sólo en El Salvador, sino globalmente en los ecosistemas en los que habita.

3.1.3. Descripción de las especies encontradas

Dentro de las nueve especies registradas solo una estuvo presente en los tres estratos muestreados: *Peromyscus salvadorensis* (Ver fig.8). Esto puede deberse a que esta especie es de hábitos cosmopolitas.

Ramos (2016, p.8), concluye que: “El género *Peromyscus* se adapta a cualquier ambiente mientras tenga alimento disponible”. Además, *Peromyscus salvadorensis* está presente en otros estudios de la región, según Matson *et al.* (2016, p.282) “es un componente principal de la mastofauna del Parque Nacional Celaque en Honduras, pues está presente en todos los sitios que se muestrearon”. Las especies: *Sigmodon hirsutus*, *Ototylomys phyllotis* y *Heteromys salvini* se registraron exclusivamente en el bosque seco.

Esto se debe a que *Sigmodon hirsutus* “se distribuye desde tierras bajas hasta los 2700 *msnm*, pero es más común una distribución altitudinal hasta los 1200 *mns*” (Monge, 2018, p. 1). Adicionalmente, es de común a abundante tanto en áreas secas como en húmedas, en pastizales, claros y entre maleza (Reid, 2009).

Esta especie debe monitorearse ya que puede ser una potencial plaga, especialmente en zonas de producción agrícola. Esta especie puede incluir en su dieta cultivos como: caña de azúcar, arroz, sorgo, algodón, maíz, frijol, tomate, piña, melón, cacao, café y especies forestales, produciendo daños a los mismos. (Monge, 2018).

Al mismo tiempo Monge (2018), indica que se ha tomado como referencia un 8% de éxito de captura para asumir que se ha alcanzado la condición de plaga. Sin embargo, este valor no es aplicable en todos los casos, por lo que es mejor realizar muestreos periódicos, y, basándose en los resultados, tomar decisiones oportunas.

⁴ Reid, F., Vázquez, E., Emmons, L. & McCarthy, T. 2008. *Handleyomys saturator*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e.T15613A4908339. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T15613A4908339>

La especie *Otodylomys phyllotis* se encuentra principalmente en bosques secos tropicales, bosques primarios húmedos y vegetación secundaria densa (Lawlor, 1982). Se distribuye desde tierras bajas hasta los 1900 *msnm*, del sureste de México hasta el sur de Costa Rica (Reid, 2009). Son ratas arborícolas y nocturnas, pueden forrajear tanto en árboles como a nivel del suelo. (Lawlor, 1982).

Por otra parte, la mayor parte del rango geográfico de la especie *Heteromys salvini* se encuentra en los bosques secos tropicales de tierras bajas de la costa del Pacífico de Oaxaca, Chiapas y América Central (Carter & Genoways, 1978). Se distribuye hasta los 1500 *msnm* (Reid, 2009).

Dicha especie junto con la especie *Heteromys desmarestianus*, a pesar de que habita en bosques tropicales húmedos, cuyas condiciones son fisiológicamente menos estresantes, ambas resultan ser intensas acaparadoras de semillas, las cuales almacenan en sus madrigueras. Así también, ambas especies presentan el comportamiento de construir un sistema de madrigueras, con entradas y salidas excavando bajo el suelo; aunque *H. desmarestianus* ocasionalmente coloca sus nidos sobre el suelo en troncos huecos (Fleming & Brown, 1975). Por consiguiente, juegan un rol importante en la depredación/dispersión de semillas, así como en la aireación del suelo.

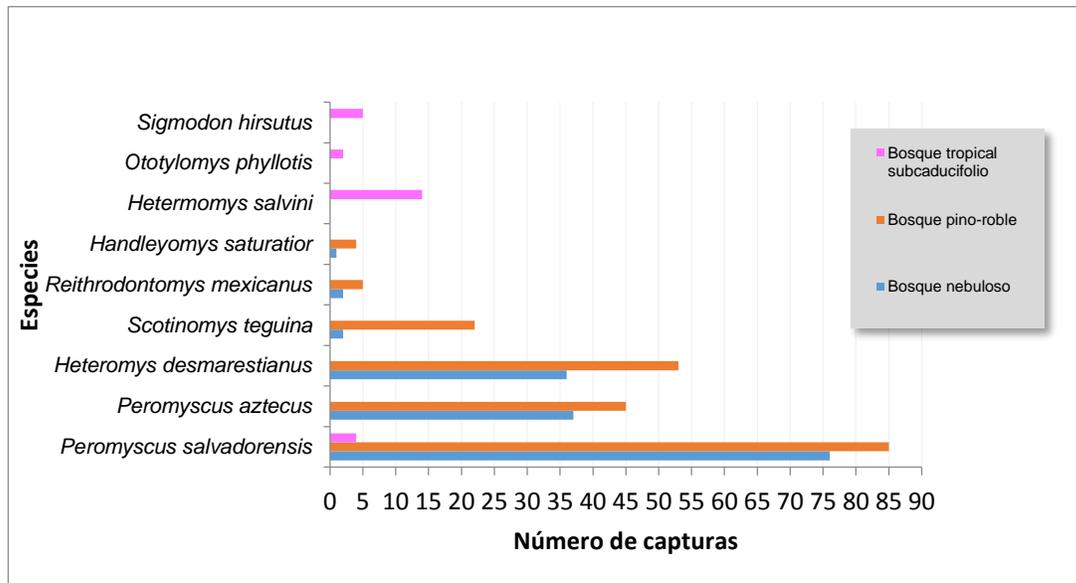


Figura 9. Capturas totales en tres estratos del Parque Nacional Montecristo en el periodo de septiembre a diciembre de 2018.

A continuación, se describen brevemente todas las especies encontradas en el periodo de estudio: (Ver fotografías en Anexo 1).

- Ratón ciervo de El Salvador (*Peromyscus salvadorensis*)

Peromyscus salvadorensis se actualizó de la especie *Peromyscus mexicanus saxatalis*. Está restringido para Guatemala oriental, El Salvador y el sur de Honduras. La información filogenética y geográfica indica altos niveles de diferenciación dentro de las montañas aisladas en la región diferenciando claramente estos individuos de otros en el núcleo de Centroamérica. (Pérez Consuegra & Vázquez-Domínguez, 2015).

Es de mediano a grande; el tamaño del cuerpo, longitud del pelo y coloración varían según la elevación, humedad y estación. Puede ser café grisáceo, café aleonado, café anaranjado pálido con los costados color ante, orejas grandes y desnudas. Anillo ocular oscuro de moderado a ancho. Cola algo bicolor y con manchas en la parte de abajo, algunas veces uniformemente oscura y casi desnuda (Reid, 2009).

Se distribuye de tierras bajas hasta los 3000 *msnm*; ampliamente distribuidos especialmente en bosques semidecíduos, secundarios y a lo largo de corrientes. También puede ser encontrado en matorrales espinosos rocosos, bosques de altura perennifolios, plantaciones de café, y entre maleza. Su dieta consiste en artrópodos, arañas, hormigas, grillos escarabajos, semillas (*Solanaceae* y *Compositae*) y material vegetal (Álvarez, 1984, citado por Reid, 2009).

- Ratón azteca (*Peromyscus aztecus*):

De talla mediana; café rojizo oscuro en la parte dorsal, costados anaranjados y partes inferiores blanquecinas. Pelo largo y grueso. Posee un anillo ocular estrecho. Cola moderadamente bicolor y ligeramente peluda. (Reid, 2009).

Se distribuye de los 800 a los 3100 *msnm* y se encuentra en bordes de bosques y de crecimiento secundario de bosques de altura. Es mayormente insectívoro e incluye hormigas, gorgojos, grillos y escarabajos en su dieta, semillas de (*Solanum spp.*) y material vegetal (Alvarez *et al.*, 1984, citado por Reid, 2009).

Los posibles depredadores de *P. aztecus* incluyen lechuzas (*Tyto alba*), coyotes (*Canis latrans*), y comadrejas (*Mustela frenata*). Los ratones aztecas evitan la depredación al minetizarse con su hábitat, o pueden refugiarse en madrigueras abandonadas o grietas (Vázquez, *et al.*, 2001, citado por Krueger, 2004).

- Rata espinosa (*Heteromys desmarestianus*)

De talla mediana a grande, en la espalda tiene pelos rígidos de color café-negrusco salpicado con pelos ocres, más pálido hacia los costados. Sus partes inferiores y patas son blancas o amarillentas; cola bicolor, larga y con pelos escasos. (Reid, 2009). Posee abazones o bolsas externas a cada lado de su boca para almacenar y transportar alimentos temporalmente (Witt, 2001).

Este ratón se distribuye desde elevaciones medias hasta los 2,400 *msnm*; vive en bosques húmedos, pero también se puede encontrar en áreas de crecimiento secundario o bosque seco estacional. Es un acumulador de semillas, almacenando semillas en madrigueras o en escondites de la superficie en su área de distribución, por esto es probablemente un importante dispersor de semillas de palma y otras especies de semillas grandes (Witt E. , 2001). Se alimenta de semillas como *Meliosma spp.* Frutos e insectos (Reid, 2009).

- Ratón espinoso de Salvin (*Heteromys salvini*)

Heteromys salvini es un ratón de tamaño pequeño a mediano, su color varía regionalmente geográficamente, sin embargo, siempre es gris o café grisáceo dorsalmente con sus partes inferiores y patas color crema. El pelaje dorsal más oscuro está entremezclado con pelos espinosos oscuros y pelos más claros de color crema. La cola es aproximadamente igual a la longitud del cuerpo, bicolor y casi sin pelo (Reid, 2009).

Usualmente se encuentra en tierras bajas hasta los 1500 *msnm*; se encuentra distribuido ampliamente en bosques deciduos, campos de maleza y cerca de rocas o paredes (Reid, 2009).

T. H. Flemming considera a *H. salvini* un animal clave de los bosques tropicales. Debido a que es tan abundante, es una importante fuente de alimento para diversos grupos de animales carnívoros, incluidos pájaros, serpientes y gatos pequeños.

Debido a que es un ávido acaparador de semillas, *H. salvini* también es un importante dispersor de semillas; también puede hacer una contribución al control de las larvas de insectos, aunque ningún estudio ha sugerido que esto beneficie a los sistemas agrícolas o forestales humanos. (Flemming, 1983, citado por Witt E., 2000).

Se alimenta de semillas de Tecomasuche (*Cochlospermum vitifolium*) y Conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), también, de larvas de escarabajos (Reid, 2009).

- Ratón cantor de Alston, ratón chocolate (*Scotinomys teguina*)

Diminuto, oscuro y con una cola corta. La parte dorsal es café chocolate oscuro. Los costados son oscuros y teñidos con anaranjado. La parte ventral es café parduzco oscuro o café anaranjado. El pelaje es liso y brillante (Elizondo, 2000, párr. 3).

Puede encontrarse de los 900 a 2,900 *msnm*; es común o abundante en bosques de altura (principalmente en bosques nebulosos), bordes de bosques y claros con hierbas. Es generalmente diurno y su nombre común se refiere que emite un llamado que se asemeja al de un insecto, el cual es realizado frecuentemente por ambos sexos. El ratón se para en sus patas traseras y cada llamado o canción dura 10 segundos (Reid, 2009).

El 80% de su dieta se basa en insectos, prefiere los escarabajos adultos, aunque también puede alimentarse de frutos y semillas (Hoper & Carleton, 1976, citado por Reid, 2009).

- Ratón cosechero mexicano (*Reithrodontomys mexicanus*)

Es un ratón muy pequeño y tiene la cola larga. La espalda es café anaranjado, ricamente salpicado con negro. Los costados son de color anaranjado brillante. La parte ventral es de color blanco o café amarillento pálido. El pelaje es largo, grueso y ligeramente lanudo. Las orejas son largas (mayoría de los especímenes), negruzcas y moderadamente peludas. Las ojerías son negras y estrechas. Las vibrasas son largas y gruesas. La cola es larga y es usual que sea uniformemente oscura, en ocasiones tenuemente bicolor. La parte superior de las

patas traseras es negruzca, usualmente hasta la base de los dedos. (Elizondo, 2013, párr. 3).

Se distribuye de los 500 – 3300 *msnm* (usualmente entre los 1000-2000 *msnm*). Es de poco común a localmente común a una extensa variedad de hábitats desde bosques montanos de roble a bosques secos de tierras bajas y matorrales áridos; también dentro de bosques maduros, en claros y áreas cultivadas (Reid, 2009).

Reithrodontomys mexicanus es semi-arbóreo y su dieta consiste en materia vegetal y ocasionalmente insectos (Alvarez *et al*, 1984; Dalquest, 1953, citado por Reid, 2009,). A veces se puede encontrar viviendo en casas y construcciones cercanas a áreas boscosas, anidando en vigas o espacios entre el techo y cielo raso (Reid, 2009).

- Rata arrocera de bosque nebuloso (*Handleyomys saturator*)

Es pequeño, la parte dorsal es de café oscuro a negruzca, los costados son café anaranjado; la parte inferior es gris blanquecino, color ante pálido o color crema. Pelo corto y suave; orejas casi desnudas con algunos pelos negros en el interior. Cola levemente bicolor y casi desnuda (Reid, 2009).

Se distribuye de los 1000 a los 2440 *msnm*. Ha sido encontrado en bosques nebulosos y de pino-roble. Sus hábitos no se han descrito, probablemente son similares a *Handleyomys alfaroi* que se alimenta principalmente de frutos y semillas; también insectos (Tirira, 2015).

- Rata trepadora orejuda (*Ototylomys phyllotis*)

Bastante pequeño hasta realmente grande, y es de color gris. La parte dorsal es café parduzco oscuro hasta café amarillento pálido, grisáceo. La parte ventral es usualmente blanca crema y la base del pelaje es blanca, en ocasiones gris pizarra. El pelaje es muy blando y fino. Las orejas son largas, café pálido y desnudas, con una mancha de pelaje blanco en la base. La cola es desnuda y brillante, toda oscura o débilmente bicolor, con escamas grandes formando anillos anchos. Las patas son cortas y gruesas, la parte superior es de color blanco (Elizondo, 1999, párr. 3).

Se distribuye desde tierras bajas hasta los 1900 *msnm*; se encuentra en una gran variedad de hábitats desde bosques secos de tierras bajas hasta bosques secundarios densos y bosques de altura. Es de hábitos nocturnos y usualmente forrajea a 3 m o menos del suelo (Reid, 2009). Además se alimenta de frutos, semillas y materia vegetal (Lawror, 1969, citado por Reid, 2009).

- Rata algodónera del sur (*Sigmodon hirsutus*).

Es de tamaño mediano a grande, rechoncho y de cola corta. La parte dorsal está cubierta por pelos ásperos entrecanos de color café grisáceo o café anaranjado. Las partes inferiores son blanquecinas, color ante o grisáceas. Posee un prominente anillo ocular de color ocre ante⁵ o pardo ante. (Reid, 2009)

Es común y abundante en pastizales, claros y matorrales; usualmente puede encontrarse en tierras bajas hasta los 1200 *msnm* tanto en áreas secas como húmedas. Puede convertirse en peste de la caña de azúcar, arroz y otros cultivos. (Reid, 2009). Su actividad es mayormente diurna y se alimenta de hongos, algunas semillas, insectos y huevos de aves. (Alvarez *et al.*, 1984, Davis 1960 citado por Reid, 2009). Estudios indican que *S. hirsutus* coexiste con varias especies, entre ellas *Heteromys salvini* (Monge, 2008).

3.2. Diversidad alfa, beta y gamma

3.2.1. Índices de diversidad alfa tradicional y diversidad verdadera

Para medir la diversidad alfa (α) dentro de cada comunidad, se utilizó un índice de diversidad específica (S), el índice de Margalef; igualmente, se utilizaron algunos de los índices más usados en estudios de diversidad que se basan en la abundancia proporcional de cada especie: El índice de Shannon y el índice de Gini-Simpson (Jost y González-Oreja, 2012). Así también se utilizó el índice de dominancia Berger-Parker, los cuales se han utilizado típicamente en muchos estudios de diversidad.

⁵ El color ante u ocre ante (buff en inglés), es una coloración estándar semioscura, naranja amarillenta y moderada, cuya sugerencia origen corresponde a la piel homónima, adobada y curtida, del alce, del búfalo, o de otros animales. Tomado de Sanz Rodríguez, J. C., & Gallego García, R. (2001). Diccionario del Color. Madrid, España: Ediciones Akal.

Tabla 3. Valores de índices de diversidad encontrados para tres estratos del Parque Nacional Montecristo.

Índice	Bosque nebuloso	Bosque pino-roble	Bosque seco
Margalef	0.99	0.93	0.93
Shannon (H)	1.18	1.44	1.14
Simpson (D)	0.36	0.27	0.38
Berger-Parker	0.49	0.39	0.56

El estrato con el valor más alto según los resultados del índice de Margalef muestra que el bosque nebuloso es el estrato con mayor diversidad (ver Tabla 3), a comparación del bosque pino-roble y bosque seco que presentan el mismo valor de diversidad (0.93). Sin embargo, el índice de Margalef es una relación entre el número de especies encontradas y el total de individuos, y además depende fuertemente del esfuerzo de muestreo (Magurran, 1955).

Moreno (2001, p.60) afirma que: “Si el propósito es simplemente comparar números de especies, la riqueza específica (S) es la mejor expresión y la más sencilla, aunque dependa del tamaño de la muestra”. Ya que este índice no incluye la abundancia proporcional de cada especie, por sí solo no es una medida certera de la diversidad de una comunidad, si se quiere conocer aspectos como la dominancia y equidad.

El índice de Shannon, por el contrario, fue mayor para el bosque pino-roble, seguido del bosque nebuloso y por último se encuentra en bosque seco. “Este mide la uniformidad o equidad y puede tomar valores entre 0 cuando hay una sola especie y el logaritmo de (S) cuando todas las especies se encuentran representadas por el mismo número de individuos” (Quiñonez Martínez, 2011, p. 86). Para el estrato del bosque de pino-roble y el bosque nebuloso el logaritmo de la riqueza específica (6) es 1.79. Por lo tanto, el valor que más se acerca es el bosque pino-roble (1.44) siendo más diverso.

Para el índice de Simpson, cuyo rango es de 0 a 1, el valor más alto corresponde al bosque seco. Esto es, porque este índice es inverso a la equidad y se encuentra influido por las especies dominantes (Moreno, 2001). En otras palabras, al escoger dos individuos al azar hay más probabilidad que estos pertenezcan a la misma especie dentro del bosque seco a que si se escogieran en el bosque de pino-roble.

El índice de Barger-Parker al igual que el índice de Simpson, muestra la dominancia en una comunidad. En este caso, “es una relación entre el número de individuos de la especie más abundante y el número total de individuos”. (Moreno, 2001, p. 42). Como puede observarse en la figura 9., el estrato con mayor dominancia es el bosque seco, mientras el que posee menor dominancia corresponde al bosque de pino-roble.

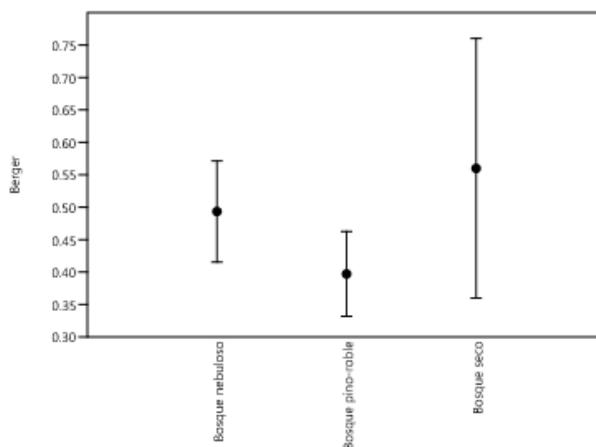


Figura 10. Valores del índice de Dominancia Berger-Parker para tres estratos del Parque Nacional Montecristo.

A pesar de que no existe un mejor método que otro para evaluar la diversidad, muchos autores han propuesto maneras alternas de evaluar la diversidad. Una de ellas es la “diversidad verdadera” propuesta por Jost (2006).

Jost (2006, p.363), expresa que los índices Shannon-Wiener y Gini-Simpson no expresan diversidad en sí mismos. Pero la conversión de estos índices a números efectivos de especies es la clave para una interpretación unificada e intuitiva de la diversidad. Los números efectivos de especies derivan de los índices de diversidad estándar y comparten un conjunto de propiedades matemáticas intuitivas y se comportan como uno esperaría de la diversidad, mientras que los índices por sí solos no.

El índice de diversidad de Shannon, por ejemplo, es una medida de la entropía o la incertidumbre, pero no responde de modo lineal a la noción intuitiva de la diversidad. No es una mala medida de la diversidad, pero no es la diversidad en sí misma. (Jost y Gonzáles-Oreja, 2012, p. 7).

Al mismo tiempo, en función de la base de logaritmos que se utilice, así son las medidas que este índice adquiere. Se expresa en *nats* cuando la base es el número e , en bits cuando la base es 2 y en decits cuando la base es 10. También es frecuente ver sus resultados sin unidades, generando confusión a la hora de comparar diferentes estudios. (Jost y Gonzáles-Oreja, 2012, p. 6)

La medida de la diversidad verdadera son los números de especies efectivas, que, dicho de otra manera, es el número de especies igualmente comunes dentro de una comunidad. Para Jost & Gonzáles-Oreja (2012, p.7), “Calcular la diversidad de especies de una comunidad cualquiera es lo mismo que determinar a qué comunidad compuesta por especies con abundancias iguales resulta equivalente; es decir, equivale a encontrar una comunidad de referencia (formada por especies igualmente comunes)”

“La complejidad de una comunidad no se expresa como un solo número. Los números de Hill (o números de especies efectivas) son una alternativa intuitiva y estadísticamente amena para cuantificar la diversidad de especies” (Chao, *et al.*, 2015).

El orden q , que se encuentra dentro de la fórmula del cálculo del número de especies efectivas “indica qué tanto influyen las especies comunes o las especies raras en la medida de la diversidad” (García-Morales, Moreno, y Bello-Gutiérrez, 2011, p. 208). Para este estudio se utilizará el parámetro q de orden 0, 1 y 2.

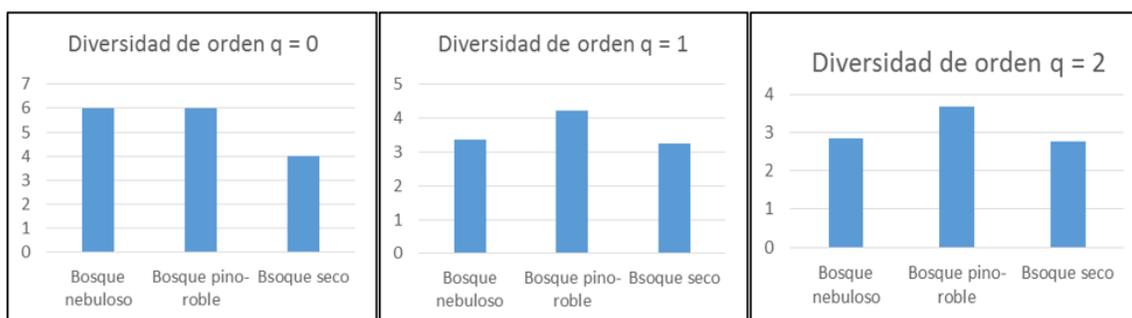


Figura 11. Gráficas de la diversidad verdadera de orden $q=0, 1$ y 2 para los tres estratos muestreados del Parque Nacional Montecristo.

La medida para $q=0$ cuenta las especies igualmente sin contar sus abundancias relativas. La medida para $q=1$ cuenta los individuos igualmente y les proporciona un peso a las especies en proporción a sus abundancias, se interpreta como el número efectivo de especies igualmente comunes en una comunidad. Finalmente, la medida para $q=2$ despreja todas las especies menos las dominantes y se interpreta como el número efectivo de especies dominantes en una comunidad (Chao, *et al.*, 2015).

Como puede observarse en la fig. 10, cuando $q = 0$, los estratos con mayor diversidad son el bosque nebuloso y bosque pino-roble por igual; mientras que cuando $q= 1$ y $q=2$ el estrato con mayor diversidad es el bosque pino-roble.

Tabla 4. Valores del índice de Shannon y números de especies efectivas en tres estratos del Parque Nacional Montecristo.

ESTRATO	INDICE DE SHANNON	DIVERSIDAD OBSERVADA		
		q = 0	q= 1	q=2
Bosque Nebuloso	1.18	6	3.36	2.84
Bosque Pino-Roble	1.44	6	4.21	3.68
Bosque Seco Tropical Sub-Caducifolio	1.14	4	3.24	2.77

Los valores de números de especies efectivas ($q= 1$) siguen una tendencia similar al índice de Shannon, con el estrato del bosque pino-roble como el más diverso contrastando al estrato del bosque seco como el de menor diversidad.

Sin embargo, su interpretación es diferente, puesto que, con la medida de la diversidad de orden 1 el estrato del bosque pino-roble tiene una diversidad teórica equivalente a si tuviese 4.21 especies efectivas o especies igualmente comunes. Asimismo, el estrato del bosque nebuloso tiene una diversidad igual a la que tendría una comunidad con 3.36 especies efectivas y el estrato de bosque seco, por su parte tiene 3.24 especies efectivas.

“Un aspecto que aporta expresar la diversidad en términos de especies efectivas es la comparación de la magnitud de la diferencia en dos o más comunidades, cosa que con el índice de Shannon no es posible realizar” (Chao, *et al.*, 2011, citado por Jost y Gonzáles-Oreja, 2012). Bajo este principio, las magnitudes de la diferencia de la diversidad observada de orden 1, muestran que la diversidad el

bosque de pino-roble es 1.25 veces mayor que en el bosque nebuloso. Mientras que es 1.29 veces mayor respecto al bosque tropical sub- caducifolio.

En el caso de la diversidad del bosque nebuloso, ésta es 1.03 mayor que el bosque tropical subcaducifolio; son estratos semejantes en términos de diversidad, siendo el estrato del bosque pino-roble ligeramente mayor.

3.2.2. Curvas de rarefacción y diversidad de orden q

Las curvas de rarefacción son un método que fue propuesto para comparar el número de especies cuando las muestras difieren en tamaño. Chao *et al.* (2016), propusieron un análisis no asintótico para la diversidad de especies basado en los números de Hill. Compara la diversidad estimada para comunidades con un tamaño igual o con una completitud igual, y está basado en los números de Hill para $q=0, 1$ y 2 y muestra datos interpolados y extrapolados.

Tabla 5. Tabla generada por el programa Inext (resumida) para la diversidad de orden $q=0$.

No.	M	Método	Orden	qD	qD.LCL	qD.UCL	SC	SC.LCL	SC.UCL	Sitio
1	1	interpolación	0	1	1	1	0.352	0.297	0.407	B.neb
2	9	interpolación	0	3.122	2.886	3.358	0.927	0.9	0.955	B.neb
3	17	interpolación	0	3.514	3.13	3.898	0.966	0.946	0.987	B.neb
20	154	observado	0	6	4.132	7.868	0.994	0.98	1.007	B.neb
21	155	extrapolación	0	6.006	4.129	7.883	0.994	0.981	1.007	B.neb
22	169	extrapolación	0	6.08	4.08	8.08	0.996	0.984	1.008	B.neb
41	1	interpolación	0	1	1	1	0.271	0.238	0.304	B.prob
42	12	interpolación	0	4.113	3.831	4.394	0.917	0.896	0.937	B.prob
43	24	interpolación	0	4.766	4.334	5.199	0.964	0.953	0.976	B.prob
60	214	observado	0	6	5.446	6.554	1	1	1	B.prob
61	215	extrapolación	0	6	5.446	6.554	1	1	1	B.prob
62	226	extrapolación	0	6	5.446	6.554	1	1	1	B.prob
81	1	interpolación	0	1	1	1	0.36	0.146	0.574	B.stro
82	2	interpolación	0	1.64	1.426	1.854	0.556	0.367	0.744	B.stro
83	3	interpolación	0	2.084	1.683	2.486	0.667	0.532	0.801	B.stro
100	25	observado	0	4	3.18	4.82	1	0.98	1.02	B.stro
101	26	extrapolación	0	4	3.177	4.823	1	0.982	1.018	B.stro
102	47	extrapolación	0	4	3.121	4.879	1	0.997	1.003	B. stro

Se muestran los valores de interpolación, extrapolación, cobertura del muestreo e intervalos de confianza al 95% para los tres estratos donde: "m" es el tamaño de la muestra para el cual se calculan los valores de diversidad de orden q, el método puede ser: interpolación, observado o extrapolación dependiendo si el tamaño de la muestra "m" es menor, igual o más grande que el tamaño de la muestra de referencia. "Orden", se refiere a la diversidad de orden q ($q = 0, 1, 2$). "qD" es la diversidad estimada de orden q para una muestra de tamaño m. "SC" es la cobertura de muestreo estimada para una muestra de tamaño m. "qD.LCL" y "qD.UCL" son los límites de confianza superior e inferior, para la diversidad de orden q, según el método de bootstrap con un valor del 95%.

“SC.LCL” y “SC. UC” son los límites de confianza superior e inferior, para la cobertura del muestreo esperada, según el método de bootstrap con un valor del 95%.

Cabe resaltar que para la diversidad de orden 0 para los valores observados se alcanza una buena cobertura del muestreo para el bosque nebuloso de 0.994, y el valor máximo de 1 para el bosque pino-roble y el bosque seco respectivamente.

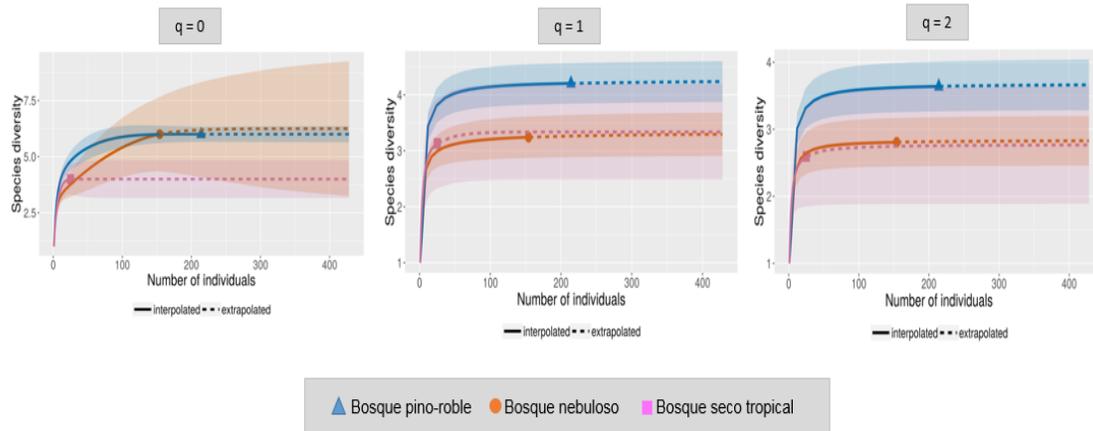


Figura 12. Curvas de rarefacción y extrapolación basadas en el tamaño de la muestra. Las líneas sólidas muestran los datos interpolados hasta alcanzar las muestras de referencia (representadas por los símbolos sólidos); las líneas cortadas muestran los datos extrapolados hasta alcanzar la muestra base de 428 (el doble de la comunidad más grande).

Cuando la diversidad es de orden $q=0$ el bosque pino-roble y bosque nebuloso llegan a la misma diversidad (6 especies), sin embargo, al extrapolar los datos a una muestra de 428 individuos el bosque nebuloso supera ligeramente al bosque de pino-roble. El bosque seco por su parte, con la extrapolación de datos no incrementa su diversidad. En general los datos muestran una tendencia a la estabilidad, ya que para el número de especies encontradas en cada estrato, se encuentran muy bien representadas, dentro de la muestra.

Para la diversidad de orden 1 la curva del bosque pino-roble supera en diversidad a la de los otros dos estratos. Esto debido a que la diversidad de orden 1 toma en cuenta la abundancia proporcional o el peso de cada especie según el número de individuos. La curva del bosque nebuloso y bosque seco alcanzan una diversidad parecida, pero el bosque seco tiene un mayor intervalo de confianza, sugiriendo una mayor dispersión en los datos.

Finalmente para la diversidad de orden 2 la curva del bosque pino-roble igualmente expresa mayor diversidad, pero en este gráfico la curva del bosque

nebuloso está por encima del bosque seco, ya que este estrato contiene más especies dominantes.

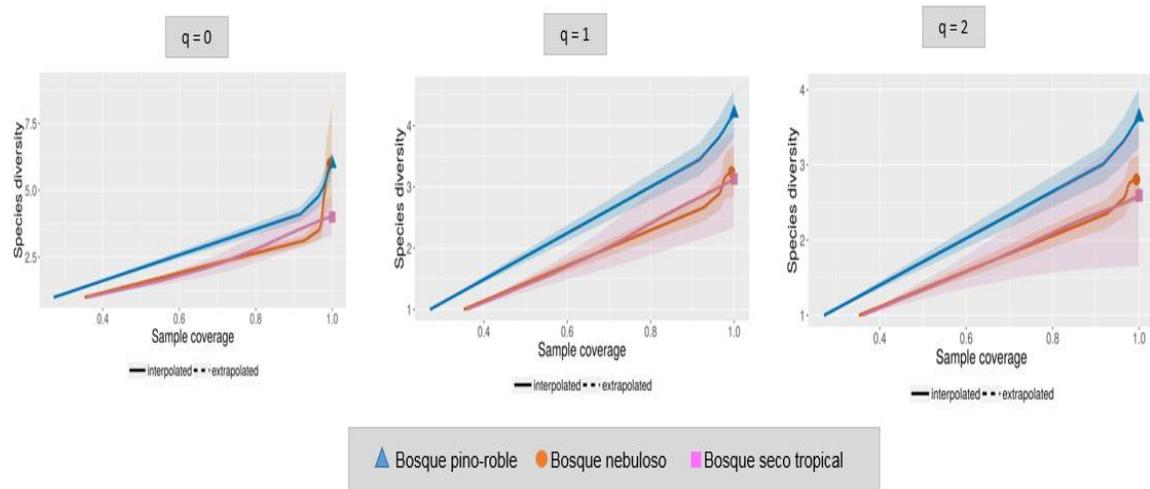


Figura 13. Curvas de rarefacción y extrapolación basadas en la cobertura de la muestra. Las líneas sólidas muestran los datos interpolados hasta alcanzar las muestras de referencia (representadas por los símbolos sólidos). La cobertura del muestreo tiene como valor máximo la unidad.

Para los tres gráficos de diversidad de orden 0, 1 y 2 se muestra una buena cobertura del muestreo, ya que, los valores alcanzan la unidad para el bosque pino-roble y el bosque nebuloso. Para el bosque nebuloso este valor es de 0.99.

No se muestran datos de extrpolación, dado que se alcanzan los valores máximos de la cobertura del muestreo, es decir, para las especies encontradas están bien representadas porque se realizó un esfuerzo de muestreo suficiente.

3.2.3. Curva rango-abundancia

Para evaluar la distribución de abundancias entre los diferentes estratos, la curva rango-abundancia sintetiza mucha información. Se ordenan jerárquicamente las especies, colocando primero la de mayor abundancia hasta llegar a la de menor abundancia. Con base a esta ordenación se obtiene un perfil de abundancias por rango, de ahí su nombre. (Barrientos, Leirana Alcocer, & Navarro Alberto, 2016, p. 11)

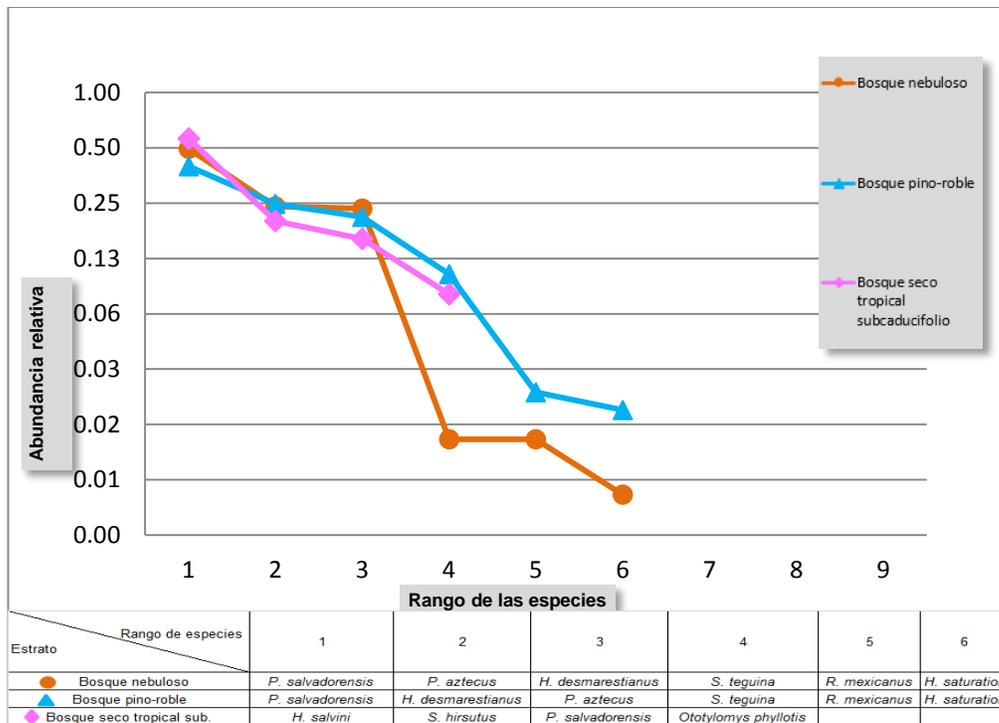


Figura 14. Curva rango-abundancia de las especies de roedores de las familias Cricetidae y Heteromyidae en tres estratos del Parque Nacional Montecristo. Se muestran los datos de los tres estratos que componen el PNM, con sus abundancias relativas y el rango de especies de mayor a menor abundancia.

El gráfico muestra la abundancia relativa para cada especie registrada por estrato en el eje y, mientras que en el eje x se encuentra el rango de las especies empezando por la más abundante. En el caso del bosque de pino roble y el bosque nebuloso, estos presentan igual riqueza de especies (6 especies) con diferentes abundancias. Las especies más abundantes en el bosque nebuloso y bosque pino-roble fueron *Peromyscus salvadorensis*, *Heteromys desmarestianus* y *Peromyscus aztecus*. Por el contrario, la especie *Handleyomys saturator* resultó ser la menos abundante o rara.

Ambos sitios presentan a *P.salvadorensis*, como la especie dominante; mostrándose ligeramente más marcada en el bosque nebuloso. Caso similar se encuentra en un estudio realizado en cuatro bosques nebulosos de núcleo de Centroamérica, dos de ellos en Guatemala y dos en Honduras. Se deduce que el género *Peromyscus* es el dominante en los bosques nubosos. En Honduras las especies *Peromyscus mexicanus* y *P. aztecus*, mientras en Guatemala la especie *P. grandis*. (Garza, 1999).

En cuanto a la tendencia de las curvas de rango abundancia según Barrientos, Leirana Alcocer, y Navarro Alberto, (2016, p.12):

En general se puede decir que, en comunidades más equitativas, la pendiente de la curva será más suave pues existe poca diferencia entre las especies más abundantes y las que les siguen. Comunidades en las que unas pocas especies son muy dominantes, mostrarán una pendiente más pronunciada.

Puede observarse que, aunque ambos estratos poseen una especie dominante, la curva correspondiente al bosque de pino-roble es más equitativa y no cae abruptamente como en el bosque nebuloso. Con respecto a la diversidad Smith & Smith (2007, p.368) afirma: “La diversidad de las especies implica dos componentes: la riqueza de especies y la equitatividad de especies, de qué modo los individuos están distribuido en cada especie (abundancia relativa)” Por tanto, aunque comparten la misma riqueza de especies, el bosque pino-roble ligeramente es más diverso, por ser más equitativo.

La curva para el bosque seco tropical sub-caducifolio es más corta, ya que se registraron sólo cuatro especies para este estrato. La única especie compartida entre los tres estratos muestreados fue *P. salvadorensis*. Así mismo, el bosque seco es el estrato que presenta la dominancia más alta, con la especie *Heteromys salvini*, difiriendo de los dos sitios de muestreo antes mencionados. Esto puede deberse a varios factores, entre ellos la composición vegetal de los sitios, factores ambientales como la temperatura y humedad relativa, la especialización de las especies a ciertos tipos de hábitat.

Por un lado, el género *Peromyscus* constituye en grupo más diverso y de mayor distribución geográfica de micromamíferos en Norteamérica y Centroamérica; por lo que ha sido ampliamente utilizado en estudios ecológicos (Chirhart *et al.* 2005; Reid 1997, citado por Rojas Rojas y Barboza Rodríguez, 2007, p.1037).

Asimismo, *Peromyscus mexicanus* se ha descrito como una de las especies más abundantes desde elevaciones medias a altas (600-3000 *msnm*) (Rojas Rojas y Barboza Rodríguez, 2007).

Incluso, el género *Peromyscus* posee capacidad para colonizar una impresionante variedad de hábitats, desde montañas, bosques secos e incluso ciudades (Bedford & Hoekstra, 2015). La capacidad de estos ratones para colonizar y prosperar en entornos con poco oxígeno se debe, en parte, a la variación genética permanente en los genes de la globina (Snyder, 1981; Natarajan et al., 2015, citado por Bedford & Hoekstra, 2015). Se identificaron varias sustituciones de aminoácidos que confieren una alta afinidad por la hemoglobina-O₂ y un mejor rendimiento aeróbico a grandes altitudes (Storz et al. 2007, 2009 citado por Bedford & Hoekstra, 2015).

Ahora bien, *Heteromys salvini* es común y ampliamente distribuido en hábitats como bosques deciduos y entre malezas (Reid, 2009). Es importante mencionar que la distribución de esta especie en elevaciones superiores puede generarse artificialmente por la deforestación masiva, que seca y calienta los bosques, permitiendo que las especies de bosques secos de tierras bajas extiendan sus poblaciones hacia arriba, como ocurre con los coyotes y ratas de algodón (Janzen & Hallwachs, 2012).

Otro aspecto, es que muchos científicos han tratado de explicar los patrones de diversidad biológica alrededor de los distintos ecosistemas de la Tierra. Como regla general se dice que la biodiversidad desciende a mayores altitudes, siendo mayor en latitudes menores. No obstante, hay taxones que se excluyen de este principio (Valverde et al., 2005, p. 234).

Muchos taxones, entre ellos los pequeños mamíferos no voladores demuestran picos de diversidad en de riqueza de especies en altitudes medias. (McCain, 2005). En otros estudios se demuestra que las especies de roedores generalmente son más altas en la época lluviosa, particularmente en bosques nebulosos. Además, las especies que se distribuyen en el bosque nebuloso y bosque pino-roble son mayormente endémicas a esos hábitats (Sánchez-Cordero, 2001).

Hay que mencionar, que para Sánchez-Cordero (2001), este patrón de diversidad corresponde a un complejo arreglo de factores bióticos y abióticos. Ambos grupos (roedores y murciélagos) se ajustan a las hipótesis: 1) la riqueza de especies aumenta con el aumento de la precipitación y productividad primaria, 2) la riqueza de

especies aumenta con el aumento de la diversidad de recursos y alimento, 3) la riqueza de especies aumenta en áreas con un alto grado de especiación.

Una serie de investigaciones muestran que estos picos de diversidad a elevaciones medias, se deben a un efecto conocido como Efecto de Dominio Medio (MDE por sus siglas en inglés). Este se produce por el solapamiento de los rangos de especies que crea un pico de riqueza en las elevaciones medias. Estos picos pueden encontrarse en regiones con lluvia intermedia y temperatura intermedia, es por esto que concuerdan con el efecto Massenerhebung, que sugiere que debido a un conjunto defactores climáticos que interactúan, regiones en forma de bandas de hábitats correlacionados con la altura cambian hacia elevaciones más altas en montañas más grandes. (McCain, 2005)

Así también McCain (2007), manifiesta que la diversidad de acuerdo a la elevación de mamíferos pequeños no voladores y murciélagos parecen responder fuertemente al clima, incluyendo variables de temperatura y precipitación específicas a la ecología de cada taxón.

Otras teorías están más relacionadas con los recursos disponibles, propios de cada ecosistema. Por ejemplo, varios estudios han demostrado que la diversidad local de las comunidades de roedores frecuentemente está relacionada a condiciones de microhábitat en donde hábitats maduros contienen mayor estabilidad de recursos (Dalmagro & Vieira, 2005, citado por Fernández de Córdoba *et al.*, 2017).

Igualmente modelos como el de Sugihara *et al.*, 2013 citado por Hidasi-Neto *et al.*, 2020 manifiestan que la abundancia relativa de especies en los distintos ecosistemas son el resultado de un desglose secuencial del nicho relacionado con el espacio sobre cómo las especies comparten los recursos disponibles.

En concreto, el porqué de la distribución altitudinal de los roedores pequeños, se debe a un complejo sistema tanto de factores bióticos como abióticos. Es a través de la investigación de estas especies en los distintos bosques de El Salvador, que se tendrá una idea más clara de los factores que son determinantes para que puedan subsistir en ellos.

Por lo que se refiere al bosque seco tropical subcaducifolio, resultó ser el estrato con menor número de especies (4 en total), con *Heteromys salvini* como la especie

dominante. Sin embargo, cuenta con especies únicas que no se encontraron en los demás estratos: *Sigmodon hirsutus* y *Ototylomys phyllotis*. En un estudio realizado en el 2013, en el Parque Nacional San Diego y San Felipe Las Barras, cuyos ecosistemas son bosque seco tropical caducifolio y bosque perennifolio en algunos sectores, se obtuvo resultados similares, ya que, la especie más abundante fue *Heteromys salvini*, seguida de *Sigmodon hirsutus*. (Pacheco Díaz, 2013, p. 41).

Un factor muy importante de mencionar es que en el bosque seco tropical subcaducifolio, existe una fuerte influencia antropogénica, ya que existen asentamientos humanos en este sitio. En este ecosistema del PNM muchas familias poseen animales domésticos (perros y gatos) que pueden verse libremente dentro del mismo. No se midió esta influencia en el presente estudio, sin embargo, no se descarta un efecto en la riqueza y abundancia de las especies de roedores.

Es por esto, que este

3.2.4. Diversidad beta

“La diversidad beta (β) es la medida para determinar las diferencias en las diversidades alfa de áreas pequeñas que están contiguas en el espacio” (Valverde *et al.*, 2005, p.84).

La diversidad beta puede medirse con índices de similitud/disimilitud a partir de datos cualitativos (presencia/ausencia de especies) o cuantitativos (abundancia proporcional de cada especie medida como número de individuos, biomasa, densidad, cobertura, etc.) o índices que miden el reemplazamiento de especies. En particular, los índices de similitud/disimilitud expresan el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas (Moreno, 2001, p. 50).

El índice de similitud de Bray-Curtis está basado en datos de abundancia de las especies en las comunidades y también es llamado “índice de Sørensen para datos cuantitativos” (Chao *et al.*, 2006).

Tabla 6. Valores del índice de similitud de Bray-Curtis entre los tres estratos muestreados.

Estratos	B.neb	B.p-rob	B.sec
B.neb	1	0.83695652	0.044692737
B.prob	0.83695652	1	0.033472803
B.sec	0.044692737	0.033472803	1

Como se muestra en la tabla 6, el bosque nebuloso y bosque pino roble son muy similares entre sí con un valor de 0.84. En contraste, el bosque nebuloso y el bosque seco son muy poco similares (0.04) y los estratos que resultaron ser más disímiles entre sí son el bosque pino-roble y bosque seco tropical subcaducifolio (0.03).

Esta relación se puede observar gráficamente mediante el dendograma basado en el índice de Bray-Curtis (Fig. 14), que muestra al bosque nebuloso y bosque pino-roble como un grupo diferente al bosque seco.

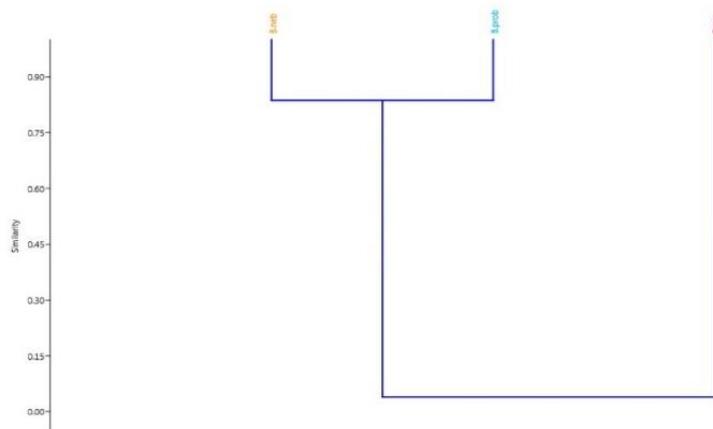


Figura 15. Dendrograma de similitud basado en el índice de Bray-Curtis, (algoritmo UPGMA) que toma en cuenta las abundancias de las diferentes especies de roedores pequeños en tres estratos del Parque Nacional Montecristo.

Es importante mencionar que esta diferencia en la abundancia y composición del estrato del bosque seco tropical subcaducifolio puede deberse a varios factores. Por ejemplo, la composición y diversidad de la vegetación en un ecosistema, tienen gran influencia en las comunidades de roedores pequeños (Gonnet & Ojeda 1998; Ecke *et al.*, 2002; Corbalan *et al.*, 2005, citado por Fernández de Córdova *et al.*, 2017). Por otra parte, existen dentro del área asentamientos humanos, generando en

ocasiones conflictos de intereses con las autoridades del parque en materia de conservación y preservación de recursos (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2003).

Asimismo, la influencia antropogénica puede repercutir en la salud de los ecosistemas y, a su vez, en la de la población humana. Conceptos como el de una sola salud indican que la salud humana y la sanidad animal son interdependientes y están vinculadas a los ecosistemas en los cuales coexisten (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2020).

Por tal motivo, la importancia social del presente estudio radica en que es un buen punto de partida para conocer cómo se componen estas especies y de la mano de esfuerzos como la implementación de un monitoreo, se podrá detectar un cambio desfavorable, que potencialmente amenace tanto a la biodiversidad como a la salud humana.

Algunas especies son susceptibles de convertirse en plaga cuando sus hábitats son transformados en enormes extensiones de cultivos y la explotación del nuevo hábitat les resulta favorable. Desde esta óptica los pequeños roedores pueden ser indicadores ecológicos, debido a que los cambios en sus abundancias y diversidad pueden reflejar modificaciones en el hábitat (Cimé-Pool *et al.* 2010, p. 24)

Es claro que se necesita más investigación durante más tiempo, para tener una mejor idea del comportamiento de los pequeños roedores a través del tiempo. Por ello, la replicación de este estudio será una herramienta muy útil para que las autoridades del PNM puedan detectar posibles comportamientos que cataloguen a alguna de estas especies como plaga; y así, poder tomar decisiones de manejo pertinentes antes que ocasionen daños tanto a los ecosistemas como económicamente a los pobladores del parque.

Como manifiestan Fernández de Córdova, Viveló-Villavicencio, & Astudillo, 2017, párr. 4:

Los manejadores de áreas protegidas hacen frente a altos niveles de impactos sobre la biodiversidad. Por lo tanto, conocer las respuestas de la fauna, en especial de grupos sensibles como son los pequeños mamíferos, es necesario para dirigir estrategias de conservación en la región.

Por otro lado, podrá conocerse como afectan fenómenos como el cambio climático, en las especies tanto abundantes como raras que están cumpliendo funciones ecológicas (dispersión de semillas, aireación del suelo, control de plagas, dispersión de esporas) dentro de los estratos muestreados.

3.2.5. Prueba Kruskal-Wallis

La prueba de Kruskal-Wallis es la alternativa no paramétrica a la prueba estadística ANOVA, la cual no asume que los datos provienen de una distribución particular. La prueba determina si las medianas de dos o más grupos son diferentes. La estadística de prueba utilizada en esta prueba se llama estadística H y determina si hay una diferencia significativa entre los grupos (Glen, 2016). Se utilizó un nivel de significancia de 0.05.

Los resultados indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de los estratos: ($H_{chi^2} = 2.32$; $p = 0.288 > 0.05$). En otras palabras, no puede descartarse que los resultados obtenidos no hayan sido productos del azar. Como manifiesta (Molina Arias, 2017, p.3): “hay muchos factores que pueden intervenir juntamente con el hecho de que exista o no diferencia real: el tamaño de la muestra, la varianza de la variable medida, el tamaño del efecto, etc.”.

Sin embargo, Como pudo observarse anteriormente con el índice de Bray-Curtis esto cambia cuando se analiza su composición de especies, la cual difiere entre los estratos altos o mayores a 1800 *msnm* y el estrato bajo.

3.2.6. Partición completa de la diversidad basada en los números de Hill o diversidad verdadera

Finalmente se presenta la partición completa de la diversidad en sus tres componentes: alfa, beta y gamma. La partición de la diversidad significa que, en un área determinada, la diversidad gama (D_γ) de todos los individuos encontrados puede dividirse en dentro (diversidad alfa, D_α) y entre (diversidad beta, D_β) conjuntos locales. La diversidad alfa refleja la diversidad de individuos dentro de los ensamblajes locales, mientras la diversidad beta la diversidad de los ensamblajes locales (Marcon *et al.*, 2014).

Por otra parte, la diversidad gamma se mide para un conjunto de comunidades que conforman una metacomunidad. Se define una metacomunidad como un conjunto de comunidades locales que están vinculadas por la dispersión de múltiples especies que potencialmente interactúan (Gilpin & Hanski 1991; Wilson 1992, citado por Leibold *et al.*, 2004).

Las comunidades locales están conectadas a otras comunidades como parte de una metacomunidad que ocupa una región. En gran parte de la literatura, las localidades son a menudo equivalentes a parches de hábitat. Un aspecto importante es que la biodiversidad en escalas espaciales más grandes también pueden ser importantes para regular el comportamiento dinámico de los ecosistemas, en formas que difieren significativamente de los efectos actualmente documentados de diversidad local (Leibold, *et al.*, 2004).

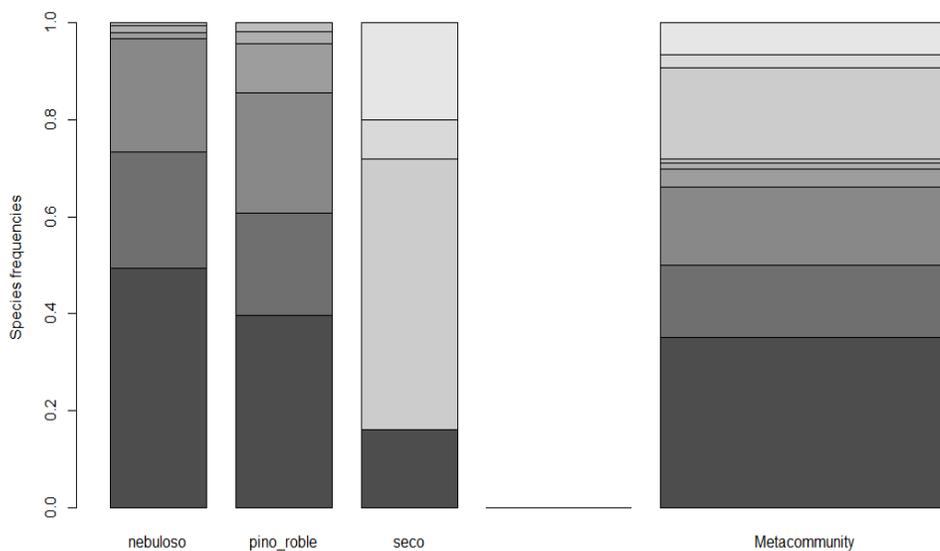


Figura 16. Resumen de la metacomunidad de especies de las familias Cricetidae y Heteromyidae del Parque Nacional Montecristo.

En el lado izquierdo de la figura 15 se muestran las 3 comunidades o estratos muestreados; mientras del lado derecho se encuentra la metacomunidad del PNM, que se compone de 9 especies. Las divisiones en distintos tonos de gris representan cada una de las especies y su probabilidad de ocurrencia dentro de la metacomunidad. Estas probabilidades se muestran en la tabla 7.

Puede observarse que la barra más oscura de mayor probabilidad corresponde a la especie *Peromyscus salvadorensis*, encontrada en todos los estratos muestreados. Por ello, se dice que es la especie que aporta más peso a la metacomunidad; siendo dominante en los bosques de pino-roble y nebuloso.

Los géneros *Peromyscus* y *Heteromys* son los que mejor están representados en la metacomunidad, juntos constituyen más de $\frac{3}{4}$ del total de la metacomunidad. Esto concuerda con otros estudios mesoamericanos como el realizado en una reserva privada de la Sierra Sur de Oaxaca, México; Buenrostro-Silva, Pinacho-López, y García-Grajales, (2016) utilizaron trampas Sherman con un esfuerzo de muestreo de 5,4000 trampas-noche y un éxito del 3.9% afirman que: “los géneros *Peromyscus* y *Heteromys* los mejor representados”.

Tabla 7. Probabilidades de ocurrencia de las especies que conforman la metacomunidad del Parque Nacional Montecristo.

Especie	Frecuencia
<i>P. salvadorensis</i>	0.35
<i>H. salvini</i>	0.19
<i>H. desmarestianus</i>	0.16
<i>P. aztecus</i>	0.15
<i>S. hirsutus</i>	0.07
<i>S. teguina</i>	0.04
<i>O. phyllotis</i>	0.03
<i>R. mexicanus</i>	0.01
<i>H. saturatior</i>	0.008

Los demás géneros como *Sigmodon*, *Scotinomys*, *Otodylomys*, *Reithrodontomys* y *Handleyomys*, tienen un menor peso en la comunidad. Sin embargo, esto no quiere decir que se pueda prescindir de estas especies en los diferentes estratos muestreados, al contrario, son especies que establecen relaciones únicas en los ecosistemas. Según Kok (2013):

Utilizando datos de tres ecosistemas muy diferentes: arrecifes de corales, bosques tropicales y praderas se ha demostrado que son principalmente las especies raras, en lugar de las más comunes, las que tienen rasgos distintos que intervienen en las funciones ecológicas únicas.

Las especies raras no son sólo un seguro ecológico, ya que realizan funciones ecológicas adicionales que podrían ser importantes en las transiciones rápidas que experimentan los ecosistemas. La vulnerabilidad de estas funciones, en particular la pérdida de biodiversidad causada por el cambio climático, destaca el papel subestimado de especies raras en el funcionamiento y la resiliencia de los ecosistemas.

Tal es el caso de la especie *H. saturator*, cuyo peso es el menor en la metacomunidad del PNM y que sus poblaciones están disminuyendo mundialmente.

Así también, es importante recalcar que debido a la abundancia de estas especies en el bosque de pino-roble y bosque nebuloso, le agrega un valor al PNM, que debe continuar con sus estrategias de protección. Como se manifiesta en el Quinto Informe Nacional para el Convenio sobre la Diversidad Biológica, el bosque de pino o pino-encino representa el 2.16% del territorio nacional, mientras los bosques nebulosos sólo el 0.05% y están amenazados por actividades extractivas (MARN, 2014).

“De igual manera los bosques semidecíduos son de los ecosistemas que más han sufrido degradación, principalmente por las actividades agrícolas y ganaderas, así como proyectos de urbanización y lotificación” (MARN, 2014, p. 21).

En cuanto a la división de la diversidad en sus componentes alfa, beta y gamma se representan conjuntamente en la fig. 15. El rectángulo horizontal más largo, que se encuentra a la altura 1 (la metacomunidad) representa la diversidad gamma que equivale a 9 especies efectivas, de las familias Heteromyidae y Cricetidae.

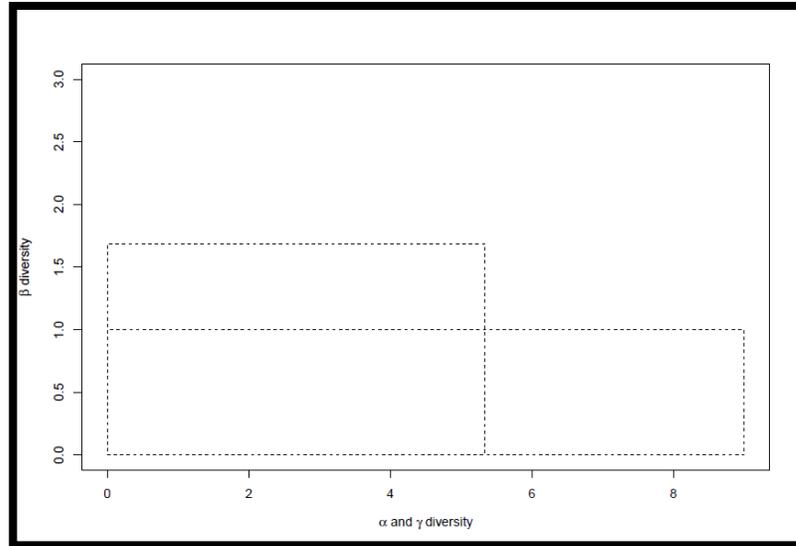


Figura 17. Partición completa de la diversidad para la metacomunidad de especies de las familias Cricetidae y Heteromyidae del Parque Nacional Montecristo.

Al mismo tiempo el rectángulo vertical, más angosto representa la diversidad alfa total de las tres comunidades en el eje horizontal, la cual equivale a 5.59 especies efectivas o igualmente comunes; mientras en el eje vertical representa la diversidad beta, que equivale a 1.59 comunidades efectivas. En otras palabras, las comunidades o estratos muestreados son tan diferentes entre sí como 1.59 comunidades con pesos iguales y sin especies en común.

CONCLUSIONES

- Se elaboró un listado con nueve especies en total de las familias Cricetidae y Heteromyidae del Parque Nacional Montecristo.
- La metacomunidad de especies del Parque Nacional Montecristo está compuesta por nueve especies de dos familias: Cricetidae y Heteromyidae.
- Los géneros *Peromyscus* y *Heteromys* son los que mejor están representados en la metacomunidad y la especie *Peromyscus salvadorensis* está presente en todos los estratos muestreados.
- Se identificaron dos especies amenazadas *Peromyscus aztecus* y *Handleyomys saturator*, según el listado oficial de especies de vida silvestre amenazada o en peligro de extinción en El Salvador.
- Existe mayor abundancia de individuos en los estratos de elevaciones medias, bosque nebuloso y bosque pino-roble, los cuales constituyen sólo un pequeño porcentaje de la cobertura boscosa de El Salvador.
- De los estratos muestreados el bosque seco tropical, es el único que presenta actividad antropogénica que potencialmente modifica la composición y diversidad de especies.
- De los tres hábitats muestreados, el bosque pino-roble es el que presenta mayor equitatividad, por lo tanto es el más diverso.
- La composición de especies es más similar entre bosque nebuloso y bosque pino-roble, respecto al bosque tropical subcaducifolio.
- La diversidad alfa de la metacomunidad del Parque Nacional Montecristo equivale a 5.59 especies efectivas y en cuanto a la diversidad beta, los estratos muestreados son tan diferentes entre sí como 1.59 comunidades.

RECOMENDACIONES

- Auxiliarse del listado elaborado con nueve especies en total de las familias Cricetidae y Heteromyidae del Parque Nacional Montecristo.
- Realizar estudios enfocados en las especies amenazadas *Handleyomys saturator* y *Peromyscus aztecus* que dependen de ecosistemas como el bosque nebuloso, cuya cobertura sigue disminuyendo a nivel nacional.
- Se recomienda realizar más estudios de diversidad enfocada a pequeños mamíferos de las familias Cricetidae y Heteromyidae en las diferentes áreas boscosas de El Salvador.
- Realizar estudios sobre el efecto de la actividad antropogénica en estas especies de mamíferos pequeños; así como también evaluar los efectos de la tenencia de animales domésticos, especialmente en las Áreas Naturales Protegidas que están aledañas a asentamientos humanos.
- Replicar este estudio en la época seca, tomando en cuenta factores abióticos, así como establecer programas de monitoreo que permitan describir cambios en la composición y abundancia de especies a lo largo del tiempo.
- Utilizar métodos complementarios para la captura de los roedores pequeños, como las trampas pitfall, siempre y cuando se tenga suficientes recursos humanos que garanticen la integridad de los individuos.
- Variar el horario de colocación de trampas en futuros estudios, que permita detectar especies de hábitos diurnos como la especie *Scotinomys teguina*.
- Estudiar la densidad poblacional de los roedores pequeños para entender cómo utilizan los recursos en sus nichos ecológicos y poder tomar decisiones de manejo cuando se requiera.
- Estudiar el rol de dispersión de semillas por las especies del género *Heteromys* en los estratos boscosos en los que habitan e identificar las especies vegetales a las que pertenecen las semillas que pueden encontrarse en sus abazones.
- Utilizar la diversidad verdadera basada en los números de Hill como una alternativa a los índices de diversidad tradicionales en todos los estudios de

diversidad, ya que unifican conceptos y son más apropiados para estudios biológicos.

- Señalizar los sitios de colocación de trampas con estacas de madera, que no llamen la atención en los sitios en que transitan personas, y de esta manera evitar su hurto.
- Desarrollar estudios morfométricos y de diversidad genética que permitan reconocer especies endémicas y especies crípticas, en géneros como *Reithrodontomys* y *Peromyscus* que se han diversificado mucho regionalmente.
- Colectar especies de referencia con sus cráneos y muestras de tejido, especialmente en los sitios nuevos donde no se han realizado estudios.
- Realizar estudios que se enfoquen en comportamiento, relaciones animal-planta, que permitan comprender mejor el rol de los roedores pequeños en los ecosistemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez-Castañeda, S. T., Álvarez, T., & González-Ruiz, N. (2017). *Keys for Identifying Mexican Mammals*. Baltimore, Maryland: Johns Hopkins University Press.
- Barrientos, R., Leirana Alcocer, J., & Navarro Alberto, J. (2016). Métodos gráficos para la exploración de patrones de diversidad en Ecología. *Bioagrobiencias*, 11 - 18.
- Baselga, A. (2013). Separating the two components of abundance-based dissimilarity: balanced changes in abundance vs. abundance gradients. *British Ecological Society*, 4, 552-557. doi:doi: 10.1111/2041-210X.12029
- Bedford, N. L., & Hoekstra, H. E. (2015). The Natural History of Model Organisms: Peromyscus mice as a model for studying natural variation. *eLife*. doi: 10.7554/eLife.06813
- Buenrostro-Silva, A., Pinacho-López, B., & García-Grajales, J. (2016). Diversidad de mamíferos en una reserva privada de la Sierra Sur de Oaxaca, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(10), 11-122.
- Burt, W. H., & Stirton, R. A. (1961). *The Mammals of El Salvador*. Michigan: Museum of Zoology, University of Michigan.
- Burton, L. K., & Pacheco, V. R. (12 de Abril de 2016). *Small Non-volant Mammals*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/301220115_Small_non-volant_mammals
- Cardoza, F. S. (2011). *Diversidad y composición florística y funcional de los bosques del Parque Nacional Montecristo*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Carter, C. H., & Genoways, H. H. (1978). *Liomys salvini*. *Mammology Papers: University of Nebraska State Museum*(84), 1-5.
- Chao, A., Chazdon, R. L., Colwell, R. K., & Shen, T.-J. (2006). Abundance-Based Similarity Indices and Their Estimation When There Are Unseen Species in Samples. *Biometrics*, 62, 361-371. doi:DOI: 10.1111/j.1541-0420.2005.00489.x

- Chao, A., Ma, K. H., Hsieh, T. C., & Chiu, C.-H. (2015). *User's Guide for Online Program SpadeR*. Obtenido de http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/.
- Cimé-Pool, J. A., Hernández-Betancourt, S. F., Barrientos, R. C., & Castro-Luna, A. A. (2010). Diversidad de Pequeños Roedores en una selva baja caducifolia espinosa del noreste de Yucatán, México. *THERYA*, 1(1), 23-39.
- Elizondo, L. H. (1999). *Otodylomys phyllotis*. Obtenido de Biodiversidad de Costa Rica: <http://www.crbio.cr:8080/neoportal-web/species/Otodylomys%20phyllotis>
- Elizondo, L. H. (2000). *Biodiversidad de Costa Rica*. Obtenido de Scotinomys teguina: <http://www.crbio.cr:8080/neoportal-web/species/Scotinomys%20teguina>
- Elizondo, L. H. (2013). *Reithrodontomys mexicanus*. Obtenido de Biodiversidad de Costa Rica: <http://www.crbio.cr:8080/neoportal-web/species/Reithrodontomys%20mexicanus>
- Fernández de Córdova, J., Viveló-Villavicencio, C., & Astudillo, P. X. (2017). VARIACIÓN DE LA COMUNIDAD DE PEQUEÑOS MAMÍFEROS NO VOLADORES EN BOSQUES ALTOANDINOS DEL PARQUE NACIONAL CAJAS, ECUADOR. *Mastozoología Neotropical*, 24(2). Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/457/45753988009/html/index.html>
- Fleming, T. H., & Brown, G. J. (1975). An Experimental Analysis of Seed Hoarding and Burrowing Behavior in Two Species of Costa Rican Heteromyid Rodents. *Journal of Mammology*, 56(2), 301-315.
- García-Morales, R., Moreno, C. E., & Bello-Gutiérrez, J. (2011). Renovando las medidas para evaluar la diversidad en comunidades ecológicas: El número de especies efectivas demurciélagos en el sureste de Tabasco, México. *THERYA*, 2(3), 205-215. doi:DOI: 10.12933/therya-11-47
- Garza, N. O. (1999). *Diversidad de mamíferos menores en cuatro bosques nubosos del núcleo de Centroamerica*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Glen, S. (2016). *Statistics How To*. Obtenido de Kruskal Wallis H Test: Definition, Examples & Assumptions: <https://www.statisticshowto.datasciencecentral.com/kruskal-wallis/>
- González-Ruiz, N., Ramírez-Pulido, J., & Gual-Díaz, M. (2014). Mamíferos del bosque mesófilo de montaña en México. En M. Gual-Díaz, & A. Rendón-Correa, *Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo* (págs. 305-326). Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Hidasi-Neto, J., Bini, L. M., Siqueira, T., & Cianciaruso, M. V. (2019). Ecological similarity explains species abundance distribution of small mammal communities. *Acta Oecologica*, 1-4. doi:<https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.103502>
- Janzen, D. H., & Hallwachs, W. (2012). *Liomys salvini (Heteromyidae, Rodentia, Mammalia) species page*. Obtenido de BIODIVERSITY: SPECIES: <https://www.gdpcf.org/liomys-salvini-heteromyidae-rodentia-mammalia-species-page>
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363-375.
- Jost, L., & Gonzáles-Oreja, J. A. (2012). Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta zoológica lilloana*, 56((1-2)), 3-14.
- Kok, A. (Mayo de 2013). *Cienciaplus Europa Press*. Obtenido de Las especies raras cumplen funciones únicas, incluso en ecosistemas muy dispares: <https://www.europapress.es/ciencia/laboratorio/noticia-especies-raras-cumplen-funciones-unicas-incluso-ecosistemas-muy-dispares-20130529105902.html>
- Krueger, E. (2004). *Peromyscus aztecus*. Obtenido de Animal Diversity Web: https://animaldiversity.org/accounts/Peromyscus_aztecus/
- Lawlor, T. E. (1982). *Otodylomys phyllotis*. *Mammalian Species*(181), 1-3.
- Leibold, M. A., Holyoak, M., Mouquet, N., Amarasekare, P., Chase, J. M., Hoopes, M., . . . Gonzalez, A. (2004). The metacommunity concept: a framework for multi-

scale community ecology. *Ecology Letters*, 601-613. doi:doi: 10.1111/j.1461-0248.2004.00608.x

León Tapia, M. (2014). Los Roedores Múridos de México: Los pequeños mamíferos de México. *Conabio. Biodiversitas*, 113: 8-11.

López-Arévalo, H., Montenegro-Díaz, O., & Cadena, A. (1993). Ecología de los pequeños mamíferos de la reserva biológica carpanta en la cordillera oriental Colombiana. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 28(4), 193 - 210.

Magurran, A. E. (1955). *Measuring biological diversity*. United Kingdom: Blackwell Publishing company.

Marcon, E., Scotti, I., Héroult, B., Rossi, V., & Lang, G. (2014). Generalization of the Partitioning of Shannon Diversity. *PLOS ONE*, 9(3), 1- 8. doi:doi:10.1371/journal.pone.0090289

MARN. (2004). *Manual de inventarios y monitoreo de la Biodiversidad*. El Salvador.

MARN. (2010). *Cuato informe al convenio sobre diversidad bilógica El Salvador*. Obtenido de <https://www.cbd.int/doc/world/sv/sv-nr-04-es.pdf>

MARN. (2014). *Quinto Informe Nacional para el Convenio sobre la Diversidad Biológica*. San Salvador: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales - MARN.

MARN. (2015). *Listado oficial de especies de vida silvestre amenazada o en peligro de extinción en El Salvador*. Obtenido de http://www.marn.gob.sv/descargas/acuerdo-74-list-oficial-sp-a-o-ep-2015/?wpdmdl=35810&ind=jgSu681CLY88QqPH9qRHjKae3xCNX4WyxMBQ-YRXf6Ane_RalqE1IyEhiyrkKyZqA8HPb-FCIRNBmDeGhm0kuw

MARN. (17 de Marzo de 2016). *marn.gob.sv*. Obtenido de <http://www.marn.gob.sv/parque-nacional-montecristo-b/>

MARN. (2016). *Plan de Manejo del Área Natural Protegida: Montecristo*. El Salvador: Dirección general de ecosistemas y vida silvestre.

Martella, M. B., Trumper, E., Bellis, L. M., Reninson, D., Giordano, P. F., Bazzano, G., & Gleiser, R. M. (2012). Manual de Ecología . Poblaciones: Introducción a las técnicas para el estudio de las poblaciones silvestres. *Reduca (Biología)*, 1 - 31.

- Matson, J. O., Eckerlin, R. P., Pérez Consuegra, S. G., & Ordoñez-Garza, N. (2016). Small Mammals from Three Mountain Ranges in Nuclear Central America. *BioOne*, 83(4), 269-285. doi:<http://dx.doi.org/10.2992/007.083.0403>
- McCain, C. M. (2005). Elevational gradients in diversity of small mammals. *Ecology*, 86(2), 366-372.
- McCain, C. M. (2007). Area and Mammalian elevational diversity. *Ecology*, 88(1), 76-86.
- Merritt, J. F. (2010). *The Biology of Small Mammals*. Baltimore, Maryland: The Johns Hopkins University Press.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2003). *Diagnóstico del Parque Nacional Montecristo*. Metapán, El Salvador : CATIE.
- Molina Arias, M. (2017). ¿Qué significa realmente el valor de p? *Pediatría Atención Primaria*, 19(76).
- Monge, J. (2008). Estado del conocimiento sobre la rata de campo (*Sigmodon hirsutus*) en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 79, 1-6.
- Monge, J. (2018). *La rata de campo (Sigmodon hirsutus)*. Obtenido de http://www.ucagro.ucr.ac.cr/sites/default/files/archivos_adjuntos/hoja_tecnica_rata_campo.pdf
- Montero Bagatella, S., & Gonzáles Romero, A. (2018). *Inecol*. Obtenido de Los roedores, enemigos o aliados de los ecosistemas.: <http://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/transparencia-inecol/17-ciencia-hoy/462-los-roedores-enemigos-o-aliados-de-los-ecosistemas>
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. Pachuca, Hidalgo: GORFI, S.A.
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., & Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*(82), 1249 - 1261.
- Murillo Contreras, L. d. (2002). *Medición de Biodiversidad Alfa y Beta en dos tipos de Vegetación del Parque Nacional Montecristo, El Salvador*. Honduras: Zamorano.

- Musser, G. (17 de Octubre de 2017). *Encyclopedia Britannica*. Obtenido de Rodent: <https://www.britannica.com/animal/rodent>
- Myers, P. (2001). *Heteromyidae*. Obtenido de Animal Diversity Web: <https://animaldiversity.org/accounts/Heteromyidae/>
- Organización Mundial de Sanidad Animal. (2020). *OIE*. Obtenido de Una sola salud: <https://www.oie.int/es/para-los-periodistas/una-sola-salud/>
- Owen, J. G., & Girón, L. (2012). *Revised Checklist and Distributions of Land Mammals of El Salvador*. Texas Tech University: Museum of Texas Tech University.
- Owen, J. G., Jones, J., Knox, J., & Baker, R. J. (1991). *Archive.org*. Recuperado el 2019, de Annotated checklist of land mammals of El Salvador: <https://archive.org/details/annotatedcheckl139owen/page/2>
- Pacheco Díaz, G. L. (2013). *Roedores en el Parque Nacional San Diego y San Felipe Las Barras, Metapán, El Salvador, durante los meses de Septiembre a Diciembre de 2012*. Santa Ana: Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria de Occidente.
- Pérez Consuegra, S. G., & Vázquez-Domínguez, E. (2015). Mitochondrial diversification of the *Peromyscus mexicanus* species group in Nuclear Central America: biogeographic and taxonomic implications. *Journal Zoological Systematics*, 1 - 12. doi:doi: 10.1111/jzs.12099
- Perú. Ministerio del Ambiente. (2015). *Guía de inventario de la fauna silvestre*. Lima: Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.
- Poor, A. (2014). *Animal Diversity Web*. Obtenido de Cricetidae, New World rats and mice, voles, hamsters, and relatives: <https://animaldiversity.org/accounts/Cricetidae/>
- Quiñonez Martínez, M. (2011). *Manual de Prácticas e Ecología de Comunidades*. Ciudad Juárez, Chihuahua: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Reid, F. A. (2009). *Mammals of Central America & Southeast Mexico*. New York: Oxford University Press.

- Rogers, D. S., & Vance, V. L. (2005). Phylogenetics of Spiny Pocket Mice (Genus *Liomys*): Analysis of Cytochrome b Based on Multiple Heuristic Approaches. *Journal of Mammology*, Volume 86, 1085 - 1094.
- Rojas Martínez, A., & Moreno Ortega, C. (2010). *Los servicios ambientales que generan los mamíferos silvestres*. Obtenido de Biblioteca de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n3/e10.html>
- Rojas-Rojas, L., & Barboza Rodríguez, M. (2007). Ecología poblacional del ratón *Peromyscus mexicanus* Rodentia: Muridae) en el Parque Nacional Volcán Poás, Costa Rica. *Revista de biología tropical*(55), 1037-1050.
- Romero - Almaraz, M. d., Sánchez- Hernández, C., García- Estrada, C., & Owen, R. D. (2007). *Mamíferos pequeños. Manual de técnicas de captura, preparación, preservación y estudio*. México 04510, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Samo-Lumbreras, A. J., Garmendia Salvador, A., & Delgado, J. A. (2008). *Introducción práctica a la Ecología*. Madrid, España: Pearson Educación.
- Sánchez Hernández, C., García Estrada, C., Owen, R. D., & Romero Almaraz, M. d. (2007). *Mamíferos pequeños. Manual de técnicas de captura, preparación, preservación y estudio*. México, D.F: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sánchez-Cordero, V. (2001). Elevation gradients of diversity for rodents and bats in Oaxaca, Mexico. *Global Ecology & Biogeography*(10), 63–76.
- Sanz Rodríguez, J. C., & Gallego García, R. (2001). *Diccionario del Color*. Madrid, España: Ediciones Akal.
- Schulz, J. (2007). *Algorithms- Similarity*. Obtenido de Bray-Curtis dissimilarity: http://www.code10.info/index.php?option=com_content&view=article&id=46:articlebray-curtis-dissim&catid=38:cat_coding_algorithms_data-similarity&Itemid=57

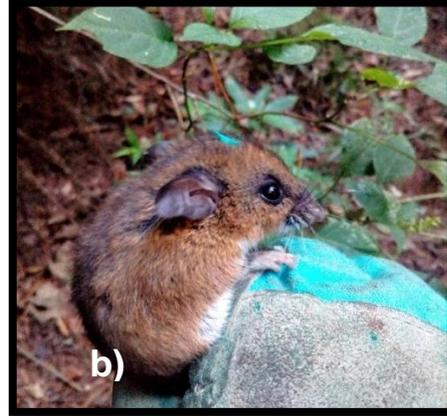
- Serrano, F. (1995). Vertebrados de El Salvador. En M. L. Reyna de Aguilar, S. Baxter, G. T. Guzmán López, S. Perrigo, M. Á. Rico Naves, F. Serrano, & C. V. Montenegro, *Historia Natural y Ecológica de El Salvador* (págs. 370 - 371). México, D.F: Comisión Nacional de los Libros de Texto Gratuitos.
- Smith, T. M., & Smith, R. L. (2007). *Ecología*. Madrid: Pearson Educación, S.A.
- Tirira, D. G. (2015). *Mamíferos del Ecuador*. Obtenido de Handleyomys alfaroi: <http://mamiferosdelecuador.com/diversidad-menu/diversidad/item/36-cricetidae/343-handleyomys-alfaroi-j-a-allen,-1891.html>
- Tzab Hernández, L., & Macswiney González, M. C. (2014). Roedores ¿plagas indeseables o animales útiles? . *CONABIO. Biodiversitas*, 115: 12-16.
- Valverde, T., Cano-Santana, Z., Meave, J., & Carabias, J. (2005). *Ecología y medio ambiente*. México: Pearson Education.
- Villalobos - Chaves, D., Ramírez - Fernández, J. D., Chacón - Madrigal, E., Pineda - Liziano, W., & Rodríguez - Herrera, B. (2016). *Clave para la Identificación de los Roedores de Costa Rica*. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Escuela de Biología.
- Vivanco, M. (2005). *Muestreo Estadístico Diseño y Aplicaciones*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, S. A.
- Wells, R. M., Sosa Estani, S., Yadon, Z. E., Enria, D., Padula, P., Pini, N., . . . Segura, E. L. (1997). An Unusual Hantavirus Outbreak in Southern Argentina: Person-to-Person Transmission? *Emerging Infectious Diseases*, 171 - 174.
- Wenny, D. G. (2000). Seed dispersal, seed predation, and seedling recruitment of a Neotropical Montane Tree. *Ecological Monographs*, 331-351.
- Witt, E. (2000). *Liomys salvini*. Obtenido de Animal Diversity Web: https://animaldiversity.org/accounts/Liomys_salvini/
- Witt, E. (2001). *Heteromys desmarestianus*. Obtenido de Animal Diversity Web: https://animaldiversity.org/accounts/Heteromys_desmarestianus/

ANEXOS

Anexo 1. Fotografías de las especies encontradas.



a) *Peromyscus salvadorensis*, Fuente: Nohemy Guerra



b) *Peromyscus aztecus*, Fuente: propia



c) *Heteromys desmarestianus*, Fuente: Nohemy Guerra



d) *Heteromys desmarestianus* (albino) Fuente: propia



e) *Heteromys salvini*, Fuente: propia.



f) abazones de *Heteromys salvini*, Fuente: propia.



g) *Scotinomys teguina*, Fuente: propia



h) *Reithrodontomys mexicanus*, Fuente: propia



i) *Handleyomys saturator*, Fuente: propia



j) *Ototylomys phyllotis*, Fuente: propia



k) *Ototylomys phyllotis*, vista lateral, Fuente: propia



l) *Sigmodon hirsutus*, Fuente: Edgardo Zúniga.

Anexo 2. Trabajo realizado en campo con personal de guardarrrecursos del PNM.

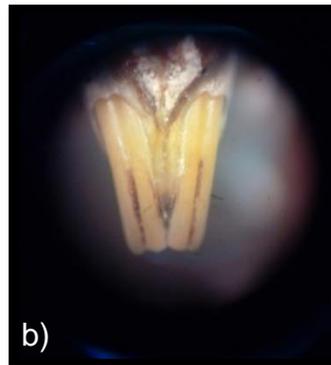


Procesamiento y toma de datos de los individuos con ayuda personal de guardarrrecursos del PNM. Fuente: Nohemy Guerra

Anexo 3. Preparación de las pieles de colección científica



a) Especimen de *Handleyomys saturator*



b) Incisivos de *Reithrodontomys mexicanus*



c) Preparación en campo de las pieles de los especímenes colectados



d) Cráneo de la especie *Handleyomys saturator*