

2002-B

394325544

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y
AGROPECUARIAS



ECOLOGÍA DE ROEDORES ENDÉMICOS DE LA ISLA COZUMEL,
QUINTANA ROO, MÉXICO

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA
PRESENTA
IRIS ALEJANDRA FORTES CORONA

Las Agujas, Zapopan, Jal. Octubre de 2004



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

COORDINACIÓN DE CARRERA DE LA LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

COMITÉ DE TITULACIÓN

**C. IRIS ALEJANDRA FORTES CORONA
PRESENTE.**

Manifiestamos a Usted que con esta fecha ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de **TESIS E INFORMES opción Tesis** con el título: **"ECOLOGÍA DE ROEDORES ENDÉMICOS DE LA ISLA COZUMEL"**, para obtener la Licenciatura en Biología.

Al mismo tiempo le informamos que ha sido aceptado/a como Director de dicho trabajo el/la **DR. ALFREDO DAVID CUARÓN OROZCO** y como Asesor el/la **M.C. SERGIO GUERRERO VÁZQUEZ**.

**A T E N T A M E N T E
"PIENSA Y TRABAJA"**

Las Agujas, Zapopan, Jalisco, 25 de septiembre del 2003



**DRA. MÓNICA ELIZABETH RIOJAS LOPEZ
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN
COORDINACIÓN DE CARRERA DE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA**


**M.C. LETICIA HERNÁNDEZ LÓPEZ
SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN**

c.c.p. **DR. ALFREDO DAVID CUARÓN OROZCO**.- Director del Trabajo
c.c.p. **M.C. SERGIO GUERRERO VÁZQUEZ**.- Asesor del Trabajo
c.c.p. Expediente del alumno

MERL/LHL/mam

C. DR. CARLOS ÁLVAREZ MOYA
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN
DE LA CARRERA DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA
DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
P R E S E N T E.

Por medio de la presente, nos permitimos informar a usted que habiendo revisado el trabajo de titulación, modalidad tesis, con el título: **“ECOLOGÍA DE ROEDORES ENDÉMICOS DE LA ISLA COZUMEL, QUINTANA ROO, MÉXICO”** que realizó la pasante **IRIS ALEJANDRA FORTES CORONA**, con número de código **394325544**, consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para la autorización de impresión.

Sin otro particular, agradecemos de antemano la atención que sirva brindar a la presente y aprovechamos la ocasión para enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

Las Agujas, Zapopan, Jal., a 13 de septiembre del 2004

EL DIRECTOR DE TESIS



Dr. Alfredo D. Cuarón Orozco

EL ASÉSOR



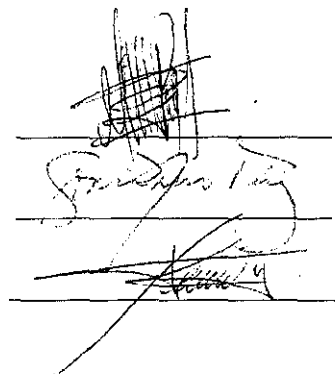
M. C. Sergio Guerrero Vázquez

SINODALES

1. Dra. Mónica E. Riojas López

2. M.C. Sonia Navarro Pérez

3. Dr. Martín Huerta Martínez



AGRADECIMIENTOS

Este proyecto de investigación se realizó gracias al apoyo económico por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología dentro del proyecto 33635-V y por parte del Fondo Sectorial Ambiental SEMARNAT-CONACYT dentro del proyecto SEMARNAT-2002-001-0571/A1, ambos bajo la responsabilidad de Alfredo Cuarón.

El trabajo de campo se llevó a cabo gracias al apoyo de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Cozumel (CAPA).

El análisis de datos y la redacción de esta tesis se desarrollaron en el Laboratorio de Manejo de la Fauna Silvestre del Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), *campus* Morelia.

Agradezco a todas las personas que de alguna forma me apoyaron en la realización de esta tesis:

A Alfredo Cuarón, por tus enseñanzas, paciencia y confianza, y por esa libertad que me diste para pensar y actuar por mi misma, este trabajo me ha proporcionado un gran aprendizaje profesional y cultural,

A Sergio Guerrero por tu asesoría, consejos y recomendaciones, y por hacerme poner los pies sobre la tierra en cada plática,

A mis sinodales, Martín Huerta, Sonia Navarro y Mónica Riojas, por sus atinadas correcciones y recomendaciones en la redacción de este trabajo,

A Christopher, Denise, Irene y Lupita por su amistad y gran ayuda en campo, sin ustedes este trabajo no hubiera terminado todavía, gracias por su apoyo durante esos meses que pasamos en Cozumel y en Morelia,

A Gabo y al Plus por sus prácticos consejos en la isla,

A José Carlos por tus consejos y eficaz ayuda en estadística,

A mi familia michoacana: todos los miembros de la MaFyHa, Adriana, Carlos, César, Elva, Eva, Emilio, y Sandra; a los guangos y los demás

compañeros del CIEco, gracias por su amistad y por todos esos momentos y buenas pláticas que hicieron muy divertido y enriquecedor el análisis de datos, la redacción de la tesis, y mi estancia en Morelia,

A todos los amigos en Cozumel, residentes y visitantes que con su amistad me apoyaron durante los meses de trabajo de campo en esa isla,

A mis maestros, compañeros del CUCBA, del Franco y viejos amigos de Guadalajara, porque todos esos momentos que pase con ustedes han determinado en gran parte la persona que soy ahora,

A mi apá, a mi amá, a Ivel, a Ilse, a mis tías Irma y Argelia y a todos mis familiares, porque siempre me apoyaron en todos los aspectos para mi realización personal y profesional.

A Lars, la pieza que completa el rompecabezas, gracias por tu cariño y tu ayuda kilométrica, tu apoyo incondicional a pesar de las distancias me ha alentado mucho en este trabajo.

CONTENIDO

RESUMEN.....	VII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Roedores de la Isla Cozumel y especies introducidas.....	4
1.2 Depredadores nativos.....	6
1.3 Efecto de luna.....	7
II. OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo general.....	11
2.2 Objetivos particulares.....	11
III. HIPÓTESIS.....	11
IV. MÉTODOS.....	12
4.1 Área de estudio.....	12
4.2 Descripción de los sujetos de estudio.....	15
4.3 Recopilación de datos.....	17
4.4 Análisis de datos.....	20
V. RESULTADOS.....	24
5.1 Capturas y esfuerzo de muestreo.....	24
5.2 Densidad.....	24
5.3 Proporción de sexos y medidas morfométricas.....	25
5.4 Estado reproductivo.....	26
5.5 Variación espacial.....	30
5.6 Variación temporal.....	31
5.7 Efecto de luna.....	33
VI. DISCUSIÓN.....	36
6.1 Capturas y esfuerzo de muestreo.....	36
6.2 Densidad.....	37
6.3 Proporción de sexos y medidas morfométricas.....	41
6.4 Estado reproductivo.....	42
6.5 Variación espacial.....	42
6.6 Variación temporal.....	44
6.7 Efecto de luna.....	44
6.8 Recomendaciones.....	47
VII. CONCLUSIONES.....	49
VIII. LITERATURA CITADA.....	50

RESUMEN

Las islas albergan gran cantidad de especies endémicas y proporcionan un laboratorio natural para estudios ecológicos de mamíferos pequeños. En el presente trabajo reporto los resultados de una investigación realizada en la Isla Cozumel de agosto del 2002 a marzo del 2003, con el objetivo de describir el estado poblacional de los roedores endémicos de la isla, y determinar el efecto de luna sobre su actividad. Realicé un muestreo mensual en cada uno de ocho sitios, durante tres días consecutivos alrededor de la luna nueva. Además, en cuatro periodos realicé monitoreos en dos sitios durante la luna llena, para constatar el efecto de luna. Estimé la abundancia, la densidad poblacional, la proporción de sexos y la actividad reproductiva. Obtuve la variación espacial, temporal y estacional de estos parámetros. Evalué el efecto de luna por especie y por estación. Apliqué un esfuerzo de muestreo de 18,879 trampas-noche, y obtuve un total de 443 capturas de 157 individuos, lo que representó un éxito de captura de 2.3%. Capturé 132 individuos de *Oryzomys couesi cozumelae*, 25 de *Reithrodontomys spectabilis* y no obtuve ejemplar alguno de *Peromyscus leucopus cozumelae*. Registré una mayor densidad de *O. couesi cozumelae* (14.5 ± 2.35 ind/ha) que de *R. spectabilis* (3.3 ± 1.9 ind/ha). En ambas especies la proporción de sexos no fue estadísticamente diferente de la relación esperada de 1:1. La temporada reproductiva de *O. couesi cozumelae* fue en agosto, septiembre, febrero y marzo, mientras que para *R. spectabilis* fue en octubre, febrero y marzo. Encontré una marcada variación espacial y temporal en las poblaciones de ambas especies. *O. couesi cozumelae* presentó un pico en noviembre en el número total de capturas e individuos, mientras que *R. spectabilis* lo presentó en el mes de diciembre.

O. couesi cozumelae no presentó un efecto de luna en su actividad, y aunque el índice de captura fue mayor en la estación seca, no tuvo diferencias significativas con la estación lluviosa. Por otra parte, no registré actividad de *R. spectabilis* durante la fase luminosa de la luna, por tanto esta especie presentó un efecto de luna negativo. El índice de captura fue mayor durante la estación lluviosa, pero sin diferencias significativas con la estación seca. La subespecie endémica *Peromyscus leucopus cozumelae* está probablemente extinta. Es probable que las especies introducidas y las poblaciones ferales de especies domésticas que se han establecido en la isla, hayan contribuido a la probable extinción de *P. leucopus cozumelae*, así como al declive de la población de *R. spectabilis*.

I. INTRODUCCIÓN

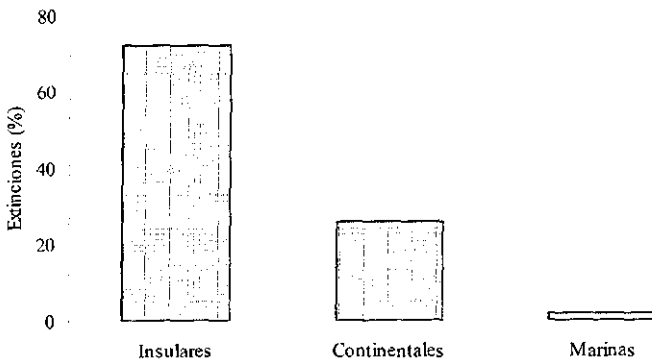
Las islas son ecosistemas vulnerables y las especies que viven en ellas son muy susceptibles a la extinción (Hilton-Taylor 2000). Varios autores han señalado la importancia para la conservación de los estudios realizados en islas (Wilcox 1980), ya que albergan un número importante de especies endémicas, y la mayoría de estas especies presenta problemas de conservación (Ceballos y Rodríguez 1993). La mayor cantidad de extinciones de mamíferos a nivel mundial ha ocurrido en ambientes insulares, principalmente en las islas del Mar Caribe (Figura 1; McPhee y Flemming 1999). El grupo de los roedores es particularmente propenso a la extinción (Ceballos y Brown 1994, McPhee y Flemming 1999), ya que en los últimos 500 años han desaparecido aproximadamente 43 especies de este orden, de las cuales 36 corresponden a especies endémicas insulares (McPhee y Flemming 1999). México ocupa el sexto lugar mundial en número de extinciones ocurridas desde el año 1500 d.C., y actualmente está en el quinto lugar de la lista de países con mayor número de especies amenazadas de mamíferos de la UICN (Hilton -Taylor 2000).

México es uno de los países con mayor riqueza de especies de mamíferos, ocupa el segundo lugar con 525 especies, de las cuales 234 pertenecen al Orden Rodentia (Ceballos *et al.* 2002). De los roedores, cerca de la mitad de las especies (113 especies) son endémicas al país y 20 son endémicas insulares (Ceballos y Rodríguez 1993, Ceballos *et al.* 2002). Las especies endémicas insulares se distribuyen en 27 islas, de las cuales las que contienen mayor número de especies son María Madre, María Magdalena y Cozumel (Ceballos y Rodríguez 1993).

Las islas oceánicas suelen tener un mayor nivel de endemismos que las islas continentales, y estos son proporcionales a su aislamiento (Major 1988). Este aislamiento ha llevado a las poblaciones insulares a diferenciarse de las poblaciones continentales más cercanamente emparentadas, dando como resultado la aparición de nuevas especies (Michaux *et al.* 2002).

La Isla Cozumel alberga un total de 25 taxa de vertebrados endémicos: tres especies y tres subespecies de mamíferos, tres especies y 15 subespecies de aves, y una especie de reptil (Wilson y Reeder 1993, Howell y Webb 1995, Taylor y Cooley 1995, Martínez-Morales 1996). De los mamíferos, tres son roedores endémicos: *Reithrodontomys spectabilis*, *Oryzomys couesi cozumelae* y *Peromyscus leucopus cozumelae*. Muchos de estos vertebrados están en riesgo (ver Martínez-Morales 1996, Cuarón *et al.* 2004).

a)



b)

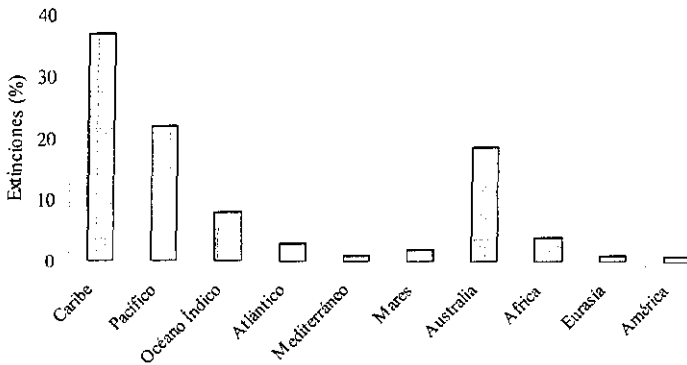


Figura 1. Extinción de mamíferos desde el año 1500 D.C. a) Por tipo de ambiente; b) Por región geográfica (Modificado de McPhee y Flemming 1999).

Un problema fundamental para la protección de especies en riesgo es la falta de información acerca de sus poblaciones actuales (Ceballos *et al.* 2002). Por ello, es necesario conocer la situación actual de la comunidad de especies endémicas así como de las especies introducidas, para tomar las medidas de conservación necesarias. En el presente trabajo muestro los resultados de una investigación realizada en Isla Cozumel, con el objetivo de conocer el estado de las poblaciones de roedores endémicos de la isla, y determinar si existe una relación de su actividad con las fases de la luna. Este estudio forma parte de un proyecto de investigación interdisciplinario en la Isla Cozumel, cuyo propósito es determinar la situación y problemática de la biota nativa e introducida a la isla, y posteriormente realizar el manejo necesario para promover la conservación del sistema insular.

1.1 Roedores de la Isla Cozumel y especies introducidas

Las especies de roedores endémicos de la Isla Cozumel pertenecen a la Familia Muridae, Subfamilia Sigmodontinae. El primer estudio data de 1901, donde Merriam describe a *Peromyscus cozumelae* (= *Peromyscus leucopus cozumelae*), a *Oryzomys cozumelae* (= *Oryzomys couesi cozumelae*) y a otros mamíferos de la isla. Durante 1962, Jones y Lawlor (1965) realizan una expedición a la isla y describen a *Reithrodontomys spectabilis* y renombran a *Oryzomys cozumelae* como *O. palustris cozumelae*. Engstrom *et al.* (1989) publican los registros de su expedición realizada en 1984, y señalan que *O. palustris cozumelae* es en realidad *O. couesi cozumelae*. Posteriormente, Reid (1997) incluye a *R. spectabilis*, *O. couesi* y *P. leucopus* en su guía de mamíferos. El primer estudio poblacional de los roedores de Cozumel se llevó a cabo entre 2001 y 2002 por Gutiérrez-Granados (2003).

Los roedores endémicos de Cozumel se encuentran en alguna categoría de conservación en la normatividad mexicana (SEMARNAT 2002), o en el caso de *R. spectabilis*, en la lista roja de la UICN (Baillie 1996). Otros mamíferos endémicos de la isla, como el coati de Cozumel (*Nasua nelsoni*) y el mapache enano (*Procyon pigmaeus*), también se encuentran en alguna categoría de protección (ver Cuarón *et al.* 2004).

Las especies nativas de roedores tienen una importancia ecológica como alimento para depredadores, control de insectos, o como dispersores de semillas (Reid 1997). Engstrom *et al.* (1989) reportan que para 1984, *P. leucopus cozumelae* era el ratón más abundante de Cozumel. Por otra parte, Engstrom *et al.* (1989) y Reid (1997) reportan la presencia de *Rattus rattus* (Subfamilia Murinae) como especie introducida y relativamente abundante

en varios sitios cubiertos de vegetación, tanto cerca de asentamientos humanos como de las zonas deshabitadas de la isla. Esta especie suele ser muy perjudicial en islas, pues además de ser portadora de enfermedades, puede eliminar o desplazar especies nativas (Reid 1997).

Además de *Rattus*, se han introducido a la Isla Cozumel otras especies exóticas (v.gr. *Boa constrictor*, perros y gatos ferales) que son depredadores potenciales de la fauna nativa de la isla (Martínez-Morales y Cuarón 1999, Cuarón *et al.* 2004). Se han documentado varios casos en México de roedores insulares endémicos extintos por la introducción de gatos y ratas (ver Ceballos *et al.* 2002). Las especies nativas suelen ser especialmente vulnerables a los depredadores introducidos, ya que los depredadores emplean métodos de forrajeo desconocidos para estas especies (Diamond y Case 1986, Whitlow *et al.* 2003).

En la Isla Cozumel existe una población de *Boa constrictor* ampliamente distribuida. Esta especie al parecer fue introducida en 1971 (Martínez-Morales y Cuarón 1999). La evidencia disponible indica que actualmente su abundancia es mayor en la isla que en el continente (Romero-Nájera, 2004). Estos reptiles se están alimentando de la fauna endémica, y dentro de su dieta prefieren comer roedores que otras presas disponibles (González-Baca, datos no publicados). Por otra parte, los gatos ferales han sido responsables de numerosas extinciones de mamíferos insulares (Mellink *et al.* 2002, Nogales *et al.* 2004), y posiblemente estos animales y los perros ferales han afectado a los roedores endémicos de Cozumel (Bautista, datos no publicados).

1.2 Depredadores nativos

En Cozumel existe una pequeña comunidad de especies nativas (Cuarón *et al.* 2004) y visitantes que representan potenciales depredadores diurnos, nocturnos y crepusculares para los roedores y otras especies de tamaño pequeño. Los tecolotes (*Otus guatemalae*), búhos (*Asio stygius*) y lechuzas (*Tyto alba*) (Howell y Webb 1995) se encuentran entre los depredadores nocturnos. Algunos colúbridos como la serpiente lagartijera olivácea (*Dryadophis melanomulus*) y el bejuquillo (*Oxybelis fulgidus*) (Lee 2000, Cuarón y González-Baca com. pers.) y aves de presa como gavilanes, milanos, aguilillas y halcones (*Buteo magnirostris*, *B. brachyurus fuliginosus*, *Chondrohierax uncinatus*, *Elanoides forficatus*, *Falco columbarius*, *F. peregrinus* y *F. ruficularis*; Howell y Webb 1995), así como los mapaches (*Procyon pygmaeus*), pizotes (*Nasua nelsoni*) y zorra gris, (*Urocyon cinereoargenteus*) (Cuarón *et al.* 2004) se encuentran entre los posibles depredadores diurnos y crepusculares. Cabe señalar que de entre estos depredadores, la mayoría de las aves de presa diurnas (excepto *Buteo magnirostris*, Macouzet 1997) y la zorra gris (García-Vasco, datos no publicados) no se han encontrado en selva mediana subcaducifolia de la isla, por lo que no representan peligro para las presas potenciales que se encuentran en este tipo de vegetación.

La fauna nativa de la isla ha evolucionado con estos depredadores, y no hubiera sobrevivido en un ambiente de fuerte presión por depredación (Martínez-Morales y Cuarón 1999). Sin embargo, ninguna de estas especies nativas o visitantes representa un depredador tan significativo como una boa o un gato doméstico, tomando en cuenta el impacto que han tenido las especies introducidas en ecosistemas insulares mexicanos (Álvarez-

Castañeda y Ortega Rubio 2003, Mellink *et al.* 2002). Los gatos son depredadores oportunistas, y han sido introducidos a islas con frecuencia. Los roedores insulares han sido los mamíferos más vulnerables a la depredación por gatos, y el impacto que han tenido estos depredadores ha sido devastador (Nogales *et al.* 2004).

En el caso de Guam, la mayor isla oceánica de Micronesia (541 km²), la fauna endémica fue afectada por la introducción de la serpiente *Boiga irregularis* (Rodda *et al.* 1997, Fritts y Rodda 1998). A pesar de que *Boiga irregularis* (Colubridae) y *Boa constrictor* (Boidae) pertenecen a diferentes familias (Zug *et al.* 2001), al parecer estas especies tienen hábitos nocturnos y son excelentes trepadoras, por lo que ambas son especialmente perjudiciales al ser introducidas en ecosistemas insulares, donde la fauna no tiene experiencia coevolutiva con depredadores de esta magnitud (Fritts y Rodda 1998, Martínez-Morales y Cuarón 1999).

1.3 Efecto de luna

Se dice que existe un efecto de luna cuando se modifica la actividad de los organismos entre las fases lunares. Existen varios estudios acerca del efecto de luna (fobia o filia lunar) con diversos grupos de mamíferos, por ejemplo: Gursky (2003) con primates nocturnos; Gannon y Willig (1997) y Hecker y Brigham (1999) con murciélagos; Kaufman y Kaufman (1982) y Daly *et al.* (1992) con ratas canguro; O'Farrell (1974), Price *et al.* (1984) y Wolfe y Summerlin (1989) con ratones. En el caso de los roedores, algunos de estos cambios de actividad pueden ser consecuencia de estrategias para evitar la depredación (Daly *et al.* 1992), ya que la luminosidad nocturna hace a los

roedores más conspicuos y vulnerables ante algunos depredadores (Kotler 1984). La mayoría de estos estudios sobre efecto de luna se han realizado en ecosistemas áridos y templados, donde predominan los depredadores que se orientan visualmente para atrapar a su presa. Si la luna influye en el riesgo de depredación, y los depredadores utilizan la luminosidad nocturna para cazar, se esperaría que en la fase luminosa, los roedores reduzcan su actividad nocturna en comparación con la fase oscura. La influencia de la luna también puede observarse en una mayor actividad durante el período anterior a la salida de la luna durante la fase luminosa, o posterior al ocultamiento de ésta, lo cual puede beneficiar a los depredadores diurnos o crepusculares (Daly *et al.* 1992, Wolfe y Summerlin 1989).

Las condiciones del ambiente y los métodos de detección tanto de las presas como de los depredadores son factores que pueden influir en que haya un efecto lunar sobre su actividad. Se ha encontrado que el riesgo de depredación es mayor en áreas abiertas, cuando los depredadores localizan a su presa de forma visual (Kotler 1984). Asimismo, el efecto de luna (fobia lunar) en quirópteros es mayor en presencia de depredadores que se orienten visualmente para cazar (Gannon y Willig 1997). Las serpientes, en cambio, no localizan a sus presas por medio de la vista, si no que interpretan las vibraciones, los receptores químicos y algunas especies emplean la termo recepción (de Cock Buning 1983). Por ello no dependen de la luminosidad nocturna para detectar y capturar sus presas. Los perros y los gatos, además de la vista utilizan el olfato para cazar, por lo que no dependen completamente de la luminosidad nocturna. Mientras que los depredadores que localizan a su presa de forma visual aprovechan los espacios abiertos (Kotler 1984), las serpientes tienen más oportunidad de cazar a su presa en los arbustos (Bouskila 1995). Es posible que el caso de

los gatos sea semejante. Si esto es así, los roedores serían vulnerables al ataque por estos depredadores durante las noches oscuras, en luna nueva, y en temporada de lluvia. Además, los roedores pueden detectar visualmente a sus depredadores terrestres en ambientes iluminados, lo que podría reducir la tasa de captura en noches iluminadas (Bouskila 1995).

Los roedores endémicos de la Isla Cozumel son principalmente nocturnos (Reid 1997). Debido a la escasez de depredadores nativos (Cuarón *et al.* 2004), se esperaría que no existiera un efecto de luna sobre la actividad de los roedores de la isla, suponiendo que éstos tengan comportamientos fijos. En caso de encontrar un efecto de luna en los roedores, se espera que la reducción de la actividad en la fase luminosa de la luna tenga una influencia negativa en el éxito de trapeo, lo que puede sesgar los estudios poblacionales (Wolfe y Summerlin 1989). Tomando en cuenta a depredadores que se orientan visualmente, el efecto de luna en la actividad de los roedores de Isla Cozumel podría ser mayor en la temporada seca, al disminuir la densidad del follaje por la caída de hojas. Al aumentar la densidad del follaje en la época de lluvia, la selva proporciona mejores sitios de sombra y refugio para los roedores (ver Dickman 1992, Falkenberg y Clarke 1998), por lo cual esperaría que la actividad de los roedores fuera mayor en esta época.

La mayoría de los estudios acerca del efecto de luna en roedores se han llevado a cabo en ecosistemas áridos o templados. Pero, ¿qué pasa en un ecosistema tropical como la Isla Cozumel? ¿Qué pasa en este ecosistema insular, donde hay pocos depredadores? ¿Qué pasa en este ecosistema tropical insular donde se han introducido depredadores?

En el aspecto práctico, me interesa saber si para realizar el monitoreo de roedores en la Isla Cozumel, es necesario programar el trapeo

considerando las fases de la luna. Si no existe un efecto de luna, el monitoreo se puede hacer en cualquier día del mes. Pero si existe un efecto de luna sobre la actividad de los roedores, el trampo debe llevarse a cabo siempre alrededor de la misma fase de la luna.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Determinar el estado de las poblaciones de roedores endémicos de Isla Cozumel, y la relación de su actividad con las fases de la luna.

2.2 Objetivos particulares

- Estimar el tamaño de las poblaciones de roedores endémicos de la Isla Cozumel.
- Caracterizar la estructura de la población de cada especie.
- Determinar si existe un efecto de las fases oscura y luminosa de la luna sobre la actividad de los roedores (luna nueva vs. luna llena), y si éste varía entre la época seca y lluviosa del año.

III. HIPÓTESIS

1. Existe una variación espacial y temporal en las poblaciones de roedores endémicos de la Isla Cozumel.
2. Existen diferencias en la actividad de los roedores entre la fase oscura y luminosa de la luna, siendo los roedores más activos en la fase oscura.
3. El efecto de luna varía con la estacionalidad del año (época lluviosa vs. época seca), siendo los roedores más activos durante la época lluviosa.

IV. MÉTODOS

4.1 Área de estudio

Cozumel es una isla oceánica de origen coralino, ubicada en el mar Caribe a 17.5 km de la costa de la península de Yucatán ($20^{\circ}16'$ a $20^{\circ}36'N$ y $86^{\circ}44'$ a $87^{\circ}02'O$), en el estado de Quintana Roo (Figura 2). Es la mayor de las islas mexicanas del Caribe, y cuenta con una superficie aproximada de 486 km^2 (Martínez-Morales 1996). Tiene una forma alargada con una longitud aproximada de 30 km y ancho de 16 km en sentido transversal.

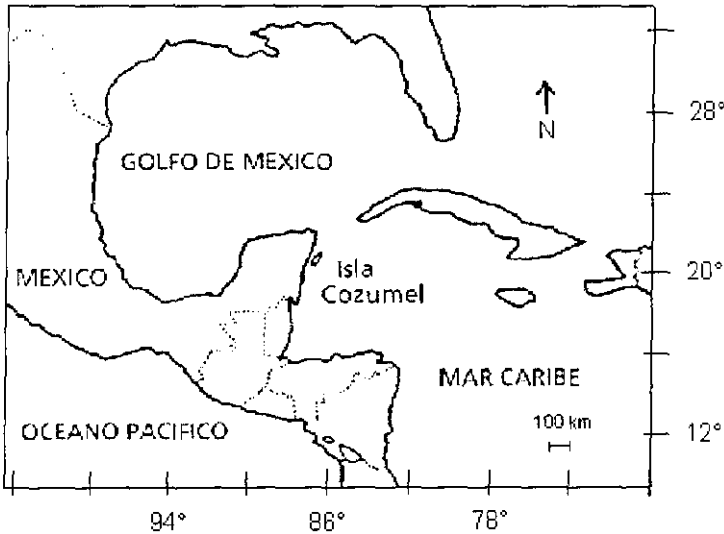


Figura 2. Ubicación de la Isla Cozumel, Quintana Roo, México.

La isla está separada del continente por el Canal de Cozumel que cuenta con más de 300 m de profundidad (Jones y Lawlor 1965), lo cual justifica su situación de isla oceánica (Martínez-Morales 1996). La Isla Cozumel se formó por una acumulación gradual de sedimentos calcáreos (Martínez-Morales 1996), por lo que la geología de la zona está representada por rocas sedimentarias (v.gr., calizas, dolomitas, lodolitas) que datan del Terciario al Cuaternario (Lesser-Jones *et al.* 1977). El punto más alto de la isla es de alrededor de 10 msnm.

Cozumel cuenta con una precipitación media anual de 1,570 mm. La temporada de lluvia abarca los meses de mayo-junio a septiembre-octubre. La temperatura promedio anual es de 25.5°C, con máximas mensuales en los meses de julio y agosto (27.3°C) y mínimas en enero (22.9°C) (García 1988; Lesser-Jones *et al.* 1977). El clima, de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por E. García, es cálido húmedo con lluvias en verano y otoño (Am W' (I)) (Lesser-Jones *et al.* 1977). La isla es frecuentemente azotada por huracanes y la temporada abarca de mayo a noviembre. Probablemente, los huracanes representan uno de los factores ecológicos más importantes que afectan la composición y estructura forestal en la región caribeña (Martínez-Morales 1996).

Debido a las características del suelo, no existen cuerpos de agua superficiales en la isla, excepto algunas lagunas costeras en la periferia. Existe un sistema acuífero en rocas calcáreas de gran permeabilidad y su recarga se realiza por la infiltración del agua de lluvia, sin formarse corrientes superficiales. Estas características dan lugar a la formación de fenómenos típicos de la zona del sureste de México, como son los cenotes (Lesser-Jones *et al.* 1977). Al igual que en la península de Yucatán, en Cozumel el drenaje es solamente subterráneo, excepto algunos cenotes y

aguadas estacionales (Cuarón *et al.* 2004). Estos cuerpos de agua juegan un papel importante en la sobrevivencia de las especies, ya que las proveen de agua en la estación seca.

La vegetación de la isla se compone principalmente por selva mediana subcaducifolia, selva baja caducifolia y manglar. Intercalados o adyacentes a los principales tipos de vegetación, encontramos también tasistal, tular, saibal y vegetación halófila o de dunas costeras (Téllez-Valdéz *et al.* 1989). Aproximadamente el 90% de la isla está cubierta por vegetación nativa, y casi el 70% de la cobertura vegetal corresponde a selva mediana subcaducifolia (Romero-Nájera, 2004), por lo que este tipo de vegetación es el más extenso y representativo de la isla. La selva mediana subcaducifolia está formada por dos estratos arbóreos de entre 8-20 m de altura. Alrededor de la mitad de las especies son caducifolias, y predominan especies como *Manilkara zapota*, *Bursera simaruba*, *Calliandra belizensis*, *Cedrela odorata*, *Metopium brownei*, *Vitex gaumeri*, *Caesalpinia gaumeri*, *Ceiba aesculifolia*, *Lysiloma latisiliqua* y *Mastichodendron gaumeri* (Téllez-Valdéz *et al.* 1989).

Cozumel cuenta con una población de alrededor de 65 000 habitantes, la mayoría de los cuales vive en el pueblo de San Miguel, ubicado en el extremo poniente de la isla. A pesar de ser uno de los principales centros turísticos de México, esta isla es una de las regiones del estado de Quintana Roo donde la vegetación se encuentra mejor conservada (Téllez-Valdéz *et al.* 1989).

4.2 Descripción de los sujetos de estudio

Las siguientes descripciones de las especies de roedores de Cozumel, en orden alfabético, están basadas en Jones y Lawlor (1965), Jones (1982), Engstrom *et al.* (1989) y en Reid (1997).

***Oryzomys couesi cozumelae* Merriam 1901**

Es un ratón de tamaño mediano (43-82 g), con pelaje grueso de aspecto áspero (Reid 1997). El dorso es pardo ante o pardo anaranjado salpicado con negro, los costados ante anaranjado, partes inferiores ante pálido o blanco. La cola es larga y marcadamente bicolor. Las orejas son relativamente pequeñas, pegadas a la cabeza y parcialmente cubiertas de pelo, con una delgada línea de pelo anaranjado. Los ojos son medianos, el hocico relativamente chato. Los pies son largos y fuertes, blancos en la parte superior. Los pelos de las patas traseras no se extienden mas allá de las uñas (Reid 1997).

Este roedor es nocturno y semiarbóreo. En el continente se alimenta de materia vegetal, insectos (hormigas, escarabajos y orugas) y semillas (Reid 1997). En Cozumel, Engstrom *et al.* (1989) la reportan como una subespecie relativamente común en bosque secundario, cerca de la costa este y sur de la isla, en diversos tipos de vegetación (*e.g.* matorral secundario y pastos altos al NE de San Miguel; matorral bajo caducifolio cerca del océano en barlovento, en la punta sur de la isla). Jones y Lawlor (1965) la reportaron como abundante en matorral secundario y enredaderas. La especie del continente se distribuye desde el sur de Texas al centro de Panamá y noroeste de Colombia (Reid 1997).

Las especies similares a *O. c. cozumelae* son *O. rostratus*, *O. alfaroi* y *O. dimidiatus*. (Reid 1997).

***Peromyscus leucopus cozumelae* Merriam 1901**

Es un ratón pequeño (19-28 g) de cola corta, con pelaje corto y suave. Esta subespecie es más larga y parda en Cozumel que la especie del continente (13-24 g; Reid 1997). Tiene el dorso gris, con matices ocre en los costados; parte inferior blanca, claramente demarcada en los costados. La cola es bicolor, más corta que el largo del cuerpo, con pelo escaso. Las orejas son medianas. Presenta un anillo ocular estrecho o ausente. Las patas son blancas (Reid, 1997).

Engstrom *et al.* (1989) reportaron que *P. l. cozumelae* es el roedor más abundante en la Isla Cozumel. Fue capturado en todos los hábitat monitoreados, incluyendo senderos en selva baja caducifolia, muros, cerca de troncos, y bases de árboles dentro y fuera del borde de selva mediana; matorral secundario denso adyacente a un sembradío; bases de árboles y bordes en selva caducifolia con suelos secos y rocosos en la costa sur; y lianas y arbustos adyacentes a la costa de la punta sur de la isla.

Encontraron también que *P. l. cozumelae* fue el único roedor común en selva mediana caducifolia en la parte oeste de Cozumel. En el continente la especie se distribuye en Canadá, Estados Unidos, y México hasta Oaxaca y la península de Yucatán (Reid 1997).

P. l. cozumelae es similar a *P. yucatanicus*, pero ésta última especie es de menor tamaño (18-25 g; Reid 1997).

***Reithodontomys spectabilis* Jones y Lawlor 1965**

Esta especie es la más grande del género *Reithodontomys* (Jones y Lawlor 1965). Es un ratón pequeño (14-23 g), con pelaje corto y suave, relativamente ralo; las partes superiores son color pardo ocráceo, ocre brillante en los costados, partes inferiores blanco grisáceo. La cola es larga con relación al tamaño del cuerpo, de color pardo oscuro en la parte superior, ligeramente pálida en la parte inferior. Las orejas son medianas, café claro, con una delgada línea de pelo oscuro. Tiene un anillo ocular negro y estrecho. Las vibrisas son largas y delgadas. Los tobillos son pardos, la parte superior de las patas blancas, o pardo en la base de los dedos (Jones y Lawlor 1965, Jones 1982, Reid 1997).

Esta especie es nocturna y semiarbórea; Reid (1997) la reporta como bastante común en vegetación secundaria y bordes de selva baja, mientras que Engstrom *et al.* (1989) la reportan como ocasional. *R. spectabilis* es la única especie de roedor endémico de Isla Cozumel.

Reithodontomys spectabilis es similar a *R. gracilis* en algunas estructuras craneales (Jones y Lawlor 1965), color y proporciones (Reid 1997), pero difiere en el ancho del arco zigomático y *R. gracilis* es de menor tamaño (9-15 g; Reid 1997; Jones y Lawlor 1965).

4.3 Recopilación de datos

Recopilé datos sobre los roedores de Cozumel de agosto del 2002 a marzo del 2003, tomando en cuenta los meses de agosto a diciembre como época de lluvia y febrero y marzo como época seca. Establecí 16 parcelas en 8 sitios en el centro de la Isla Cozumel, en las instalaciones de captación de

agua de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de la isla (CAPA) (Figura 3). Esta es una zona inhabitada y de acceso restringido, por lo que no es transitada por la población general de la isla. La zona de muestreo esta cubierta por selva mediana subcaducifolia. Dado que este tipo de vegetación es el más representativo de la isla por su gran extensión, solo se realizó el monitoreo en esta parte de Cozumel.

Los sitios fueron distribuidos en dos caminos de terracería establecidos por CAPA para llegar a los pozos de absorción que abastecen de agua dulce a la población de la isla. Un camino esta ubicado en el km 6 de la carretera transversal que divide la isla en dos (eje 6, o eje Poniente) y el segundo camino esta en el km 8 (eje 8, o eje Oriente). En cada eje se establecieron cuatro sitios, a una distancia mínima de 1 km cada uno. Cada sitio cuenta con dos parcelas de aproximadamente 0.5 ha cada una (71 x 71 m), separadas por un camino menor de terracería: una parcela al sur y la segunda al norte del camino (Figura 3).

En cada una de las 16 parcelas coloqué una retícula de siete por siete líneas de trampas Sherman; las primeras trampas estaban a 10 m del borde de la parcela. Utilicé un total de 49 trampas por parcela, separadas con un espacio de 8.5 m entre cada una. Las trampas fueron cebadas con una mezcla de avena, crema de cacahuate y esencia de vainilla.

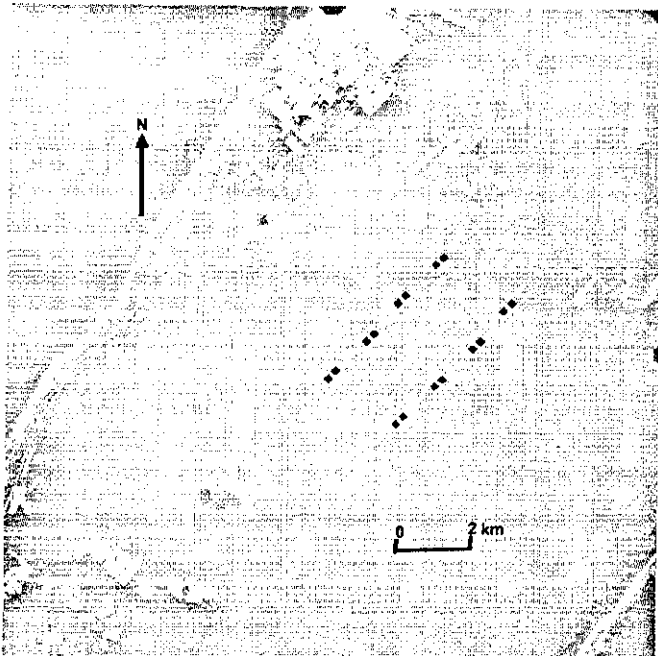


Figura 3. Ubicación de cjes, sitios y parcelas en CAPA, Isla Cozumel (fotografía aérea del 7 de febrero de 2000. La escala gráfica es aproximada).

Realicé un monitoreo mensual en cada parcela durante tres días consecutivos alrededor de la luna nueva, muestreando dos sitios a la vez. Además, en cuatro periodos realicé monitoreos en dos sitios durante la luna llena, para constatar el efecto de luna. El efecto de luna fue evaluado con relación a las fases oscura y luminosa de la luna, sin tomar en cuenta el tiempo de permanencia de la luna en el cielo, ni el momento de salida u ocultamiento de ésta. Los sitios fueron seleccionados con un sistema

estratificado al azar: el eje fue seleccionado de forma estratificada y el sitio fue seleccionado al azar, pero de manera que no se repitieran.

Cada individuo capturado fue marcado mediante la técnica de ectomización de falanges (Jones *et al.* 1996) con números consecutivos según el sexo y la especie, y se le tomaron los siguientes datos: especie, edad, sexo, estado reproductivo, y medidas morfométricas estándar (longitud total, longitud de cola, longitud de pata trasera, longitud de oreja y peso). La longitud corporal se obtuvo posteriormente restando la longitud de cola a la longitud total. Se anotó también la condición general del individuo y la ubicación de su captura, tomando en cuenta la posición de la trampa en la grilla, parcela, sitio y eje.

4.4 Análisis de datos

El esfuerzo de muestreo lo obtuve con la fórmula siguiente: número de trampas utilizadas en cada sitio x número de noches muestreadas (trampas-noche) (Jones *et al.* 1996). El éxito de captura lo calculé con la fórmula siguiente: número de capturas / esfuerzo de muestreo.

Para estimar la densidad poblacional utilicé el método de Krebs (1966), mediante el conteo directo del número mínimo de individuos vivos (NMIV). Este método supone que la mayoría de los individuos de la población son capturados (Sánchez-Cordero 1993, Krebs 1999). Sin embargo, este método en ocasiones tiende a subestimar la densidad poblacional (Jolly y Dickson 1983). Para obtener el área efectiva de muestreo, utilicé el método de franja fronteriza (*boundary strip*, Krebs 1999). Este método consiste en adicionar una franja alrededor del área de trampeo. Para ello estimé el radio de movimiento de los roedores, y la mitad

de este radio corresponde al ancho de la franja (Krebs 1999). Para obtener la densidad de cada especie, promedié la densidad de los sitios (NMIV / área efectiva de muestreo de un sitio) \pm el error estándar. Reporto la densidad de individuos por una hectárea.

Para la estructura poblacional, agrupé a los individuos de cada especie en machos y hembras, y dividí el número mayor entre el menor para obtener la proporción de sexos. Para la actividad reproductiva agrupé a los individuos activos de cada especie (machos con testículos escrotados, hembras preñadas, con tetillas lactantes o vulva abierta) y no activos (machos con testículos abdominales e inguinales, hembras sin señales de gestación o lactancia), sumando el total por cada mes de muestreo. Como parte de la estructura poblacional, comparé las medidas morfométricas de cada especie por sexo, utilizando el promedio de cada medida \pm el error estándar.

Obtuve la variación espacial al comparar la densidad poblacional (NMIV) de cada sitio de muestreo. Para la variación temporal, comparé el número de capturas y de individuos (NMIV) por mes, para constatar el cambio poblacional de cada especie. Para la variación estacional agrupé los meses de muestreo, considerando la temporada lluviosa de agosto a diciembre, y la temporada seca en febrero y marzo.

Debido a que existió una variación poblacional importante a lo largo del año, para evaluar el efecto de luna de cada especie desarrollé un índice de actividad. Este índice lo obtuve al dividir el número de capturas entre el número de individuos, para abarcar todos los sitios muestreados a pesar de las variaciones espaciales y temporales. También utilicé este índice para comparar el efecto de luna de cada especie en la estación seca y en la estación lluviosa.

Determiné si existieron diferencias significativas en los resultados de densidad, medidas morfométricas, estado reproductivo, variación espacial y efecto de luna. En el caso de medidas morfométricas de *Oryzomys couesi cozumelae*, para ver diferencias en la longitud de la cola sólo utilicé a los individuos con la cola entera, para evitar cualquier sesgo en el tamaño. En el caso del efecto de luna en *Reithrodontomys spectabilis*, no pude calcular estas diferencias debido a que en la fase luminosa no registré individuo alguno de esta especie.

Para determinar si la distribución de los datos era normal utilicé la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Campbell 1989). Para comparar las diferencias de densidad y entre ambos sexos en las medidas morfométricas utilicé la prueba de t para dos muestras independientes. Para comparar las diferencias entre proporción de sexos, la variación espacial entre los sitios, y la variación temporal entre los meses, utilicé la prueba de G. Empleé la corrección de Williams, que reduce el valor de G y hace que esta prueba sea más conservadora (Sokal y Rohlf 1981). Para la variación espacial de *Reithrodontomys spectabilis* sólo tomé en cuenta los sitios donde capturé esta especie. En el caso de la variación temporal consideré los residuales estandarizados para determinar los meses en los que se capturaron más individuos que los esperados al azar.

Para comparar el estado reproductivo de machos y hembras de cada especie, utilicé la prueba de Friedman. Esta prueba es un análisis de varianza no paramétrico, útil para comparar poblaciones cuyos datos no se ajustan a los supuestos de normalidad y homocedasticidad de los análisis paramétricos (Campbell 1989, Zar 1996).

Para el análisis simultáneo de efecto de luna y temporada en *Oryzomys couesi cozumelae*, utilicé una prueba no paramétrica análoga al

análisis de varianza de dos vías. Esta prueba es una extensión de Kruskal-Wallis modificada por Schreirer, Ray y Hare (Zar 1996).

Definé la significancia estadística a partir de $P = 0.05$. Los análisis fueron realizados con el programa SPSS versión 11.0 y 11.5 y con Excel.

V. RESULTADOS

5.1 Capturas y esfuerzo de muestreo

Mediante un esfuerzo de muestreo de 18,879 trampas-noche, obtuve un total de 443 capturas de 157 individuos, lo que corresponde a un éxito de captura de 2.3%. Capturé 132 individuos de *O. couesi cozumelae*, 25 individuos de *R. spectabilis*, y no obtuve ejemplar alguno de *P. leucopus cozumelae* (Cuadro 1). Tampoco se capturó algún ejemplar de *Rattus rattus*, aunque hubo algunos avistamientos de esta especie en varios sitios de San Miguel (obs. pers.), el asentamiento humano más grande de la isla.

Cuadro 1. Número de individuos capturados de cada especie de roedor en la Isla Cozumel (2002-2003).

Taxa	Individuos		Capturas	
	n	%	n	%
<i>O. couesi cozumelae</i>	132	84	393	89
<i>R. spectabilis</i>	25	16	50	11
<i>P. leucopus cozumelae</i>	0	0	0	0

5.2 Densidad

El área efectiva de muestreo por sitio fue de 11,374 m² para *O. couesi cozumelae*, y 9,467 m² para *R. spectabilis*. Registré una densidad de 14.5 ± 2.35 individuos/ha para *O. couesi cozumelae*, y 3.3 ± 1.9 para *R.*

spectabilis. La densidad de *O. couesi cozumelae* fue significativamente mayor a la abundancia de *R. spectabilis* ($t = 3.71$; g.l. = 13,4; $P = 0.003$).

5.3 Proporción de sexos y medidas morfométricas

La proporción de sexos encontrada para el total de individuos capturados de *O. couesi cozumelae* fue de 1.3:1, con un sesgo hacia los machos. Para *R. spectabilis*, fue de 0.9:1, favoreciendo ligeramente a las hembras. Sin embargo, en ninguno de los casos difirió significativamente de la proporción de 1:1 (*O. couesi cozumelae*: $G_{adj} = 2.41$, g.l. = 1, $P = 0.12$; *R. spectabilis*: $G_{adj} = 0.04$, g.l. = 1, $P = 0.84$).

En el Cuadro 2 reporto las medidas morfométricas encontradas para ambas especies. En general, no encontré diferencias significativas entre las medidas de machos y hembras de cada especie. Excepciones fueron, en el caso de *O. couesi cozumelae*, que los machos fueron significativamente más pesados que las hembras ($t = 2.17$; g.l. = 384; $P = 0.030$), y que tuvieron una mayor longitud de cola ($t = 2.36$; g.l. = 293; $P = 0.019$).

Cuadro 2. Medidas morfométricas de *O. couesi cozumelae* y *R. spectabilis* (promedio \pm error estándar) en Isla Cozumel (2002-2003). Medidas morfométricas: LT= Longitud total; LC= Longitud de cola; LP= Longitud de pata izquierda trasera; LO= Longitud de oreja; Lc= Longitud corporal.

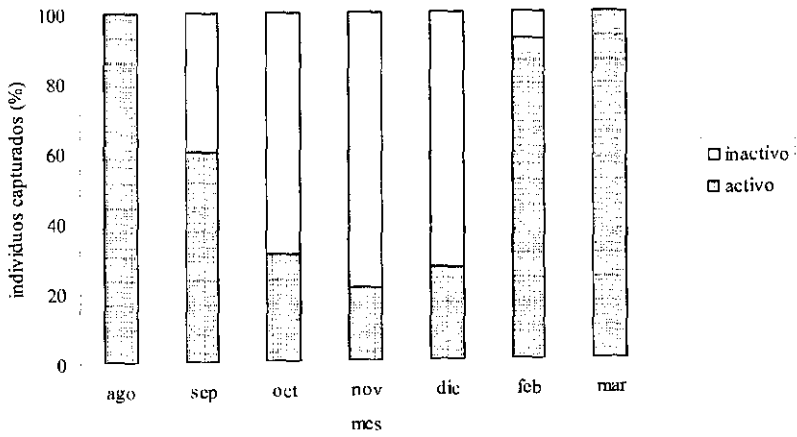
		Peso	LT	LC	LP	LO	Lc
<i>O. couesi</i>							
<i>cozumelae</i>							
macho	n = 75	47 \pm 1	255 \pm 2	145 \pm 1	30 \pm 1	15 \pm 0	111 \pm 1
hembra	n = 57	44 \pm 1	246 \pm 2	137 \pm 2	29 \pm 0	15 \pm 0	110 \pm 1
<i>R. spectabilis</i>							
macho	n = 12	20 \pm 1	203 \pm 2	124 \pm 1	20 \pm 0	15 \pm 0	79 \pm 2
hembra	n = 13	19 \pm 1	205 \pm 1	123 \pm 1	20 \pm 0	15 \pm 0	82 \pm 1

5.4 Estado reproductivo

Al parecer, la temporada reproductiva de *O. couesi cozumelae* corresponde a los meses de agosto, septiembre, febrero y marzo en los machos; y septiembre, febrero y marzo en las hembras (Figura 4). En estos meses observé un porcentaje mayor al 50% de individuos en estado reproductivo activo (testículos escrotados en los machos; vulva abierta, tetillas lactadas o indicios de gestación en las hembras). Sin embargo, se capturaron individuos reproductivos de ambos sexos, durante todos los meses de muestreo (Figura 4). No hubo diferencias entre la actividad e inactividad reproductiva durante los 7 meses del muestreo (Prueba de Friedman, $\chi^2 = 0.176$; g.l. = 3; $P = 0.981$).

Encontré machos de *R. spectabilis* en estado reproductivo activo principalmente en los meses de febrero y marzo, mientras que las hembras estuvieron más activas durante los meses de octubre y marzo. A pesar de que no se capturaron machos durante los meses de agosto y septiembre, se capturaron machos reproductivos en casi todos los meses, excepto octubre (Figura 5a). En los meses de octubre, noviembre y febrero, el tamaño de muestra de machos fue tan solo de uno, tres y dos individuos, respectivamente. Las hembras reproductivas de esta especie se capturaron igualmente en casi todos los meses, excepto agosto y noviembre (Figura 5b). En los meses de agosto, septiembre y noviembre, el tamaño de muestra de hembras fue de uno, tres y tres individuos, respectivamente. No hubo diferencias entre la actividad e inactividad reproductiva durante los 7 meses del muestreo (Prueba de Friedman, $\chi^2 = 1.721$; g.l. = 3; $P = 0.632$).

a)



b)

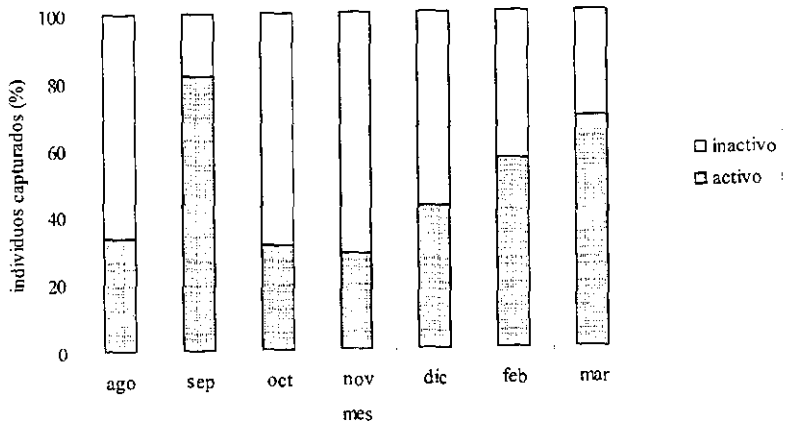
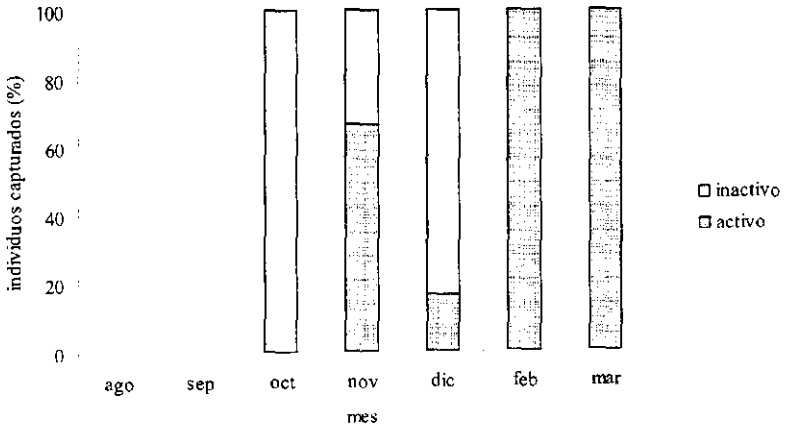


Figura 4. Estado reproductivo de *O. couesi cozumelae* en la Isla Cozumel (2002-2003), a) machos; b) hembras.

a)



b)

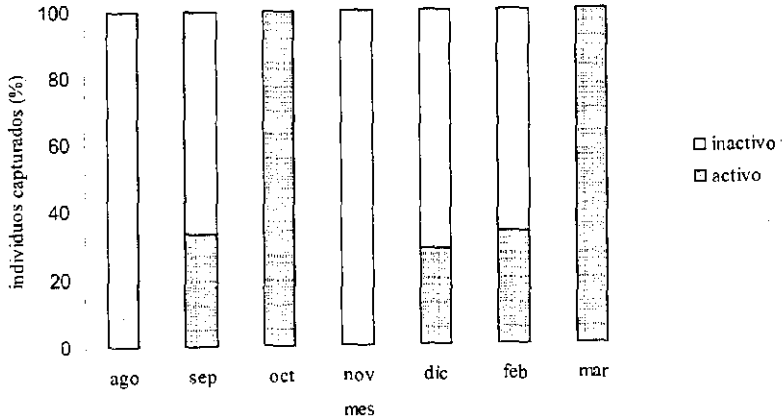


Figura 5. Estado reproductivo de *R. spectabilis* en la Isla Cozumel (2002-2003), a) machos; b) hembras.

5.5 Variación espacial

Encontré una marcada variación de las poblaciones de roedores entre los sitios de muestreo (Figura 6). *Oryzomys couesi cozumelae* fue más abundante en el eje 8 (Oeste), principalmente en los sitios 2 y 8. La abundancia de *Oryzomys couesi cozumelae* guarda diferencias significativas entre cada sitio ($G_{adj} = 158.42$; g.l. = 7; $P < 0.001$). Los sitios del eje 6 (Este) presentaron muy bajas capturas, además en este eje las capturas de *Oryzomys* fueron menores que en el eje 8 ($G_{adj} = 143.61$; g.l. = 1; $P < 0.001$).

Reithrodontomys spectabilis sólo fue capturado en tres sitios del eje 8 (Oeste), siendo más abundante en el sitio 4. Esta especie también presenta diferencias significativas entre los sitios en los que fue capturada ($G_{adj} = 6.68$; g.l. = 2; $P = 0.035$).

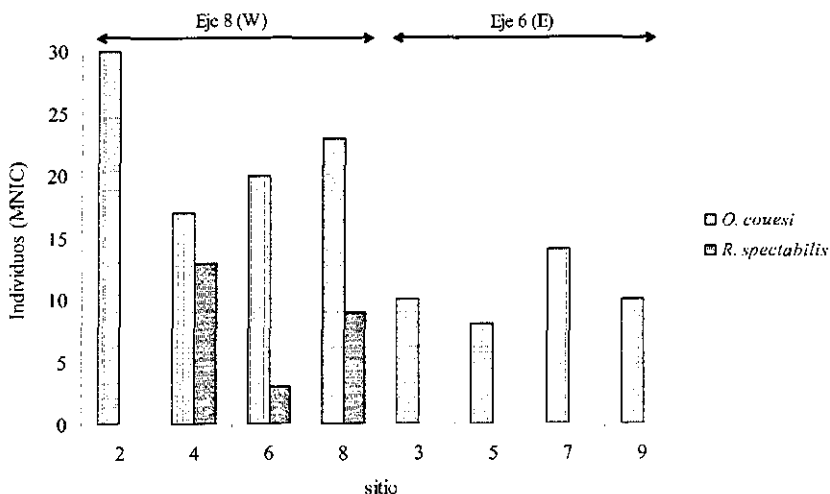


Figura 6. Variación espacial de *O. couesi cozumelae* y *R. spectabilis* en los sitios de muestreo en la Isla Cozumel (2002-2003).

5.6 Variación temporal

El tamaño de las poblaciones de roedores presentó una fuerte variación temporal. En el caso de ambas especies hubo un incremento gradual para, después de un pico en la abundancia, seguir una reducción poblacional (Figuras 7 y 8). Encontré un pico en noviembre en el número de capturas e individuos de *O. couesi cozumelae* (Figura 7). Para *R. spectabilis*, encontré un pico en el mes de diciembre para el número de capturas e individuos (Figura 8).

Encontré diferencias significativas en el número de capturas por mes por especie (*O. couesi cozumelae*: $G_{adj} = 183.3$; g.l. = 6; $P \leq 0.001$; *R. spectabilis*: $G_{adj} = 25.3$; g.l. = 6; $P \leq 0.001$). El análisis de los residuales estandarizados indicó que los meses de noviembre y diciembre tuvieron un mayor número de capturas de *Oryzomys* que lo esperado al azar. En el caso de *R. spectabilis*, fueron los meses de diciembre a marzo cuando hubo mas capturas que las esperadas.

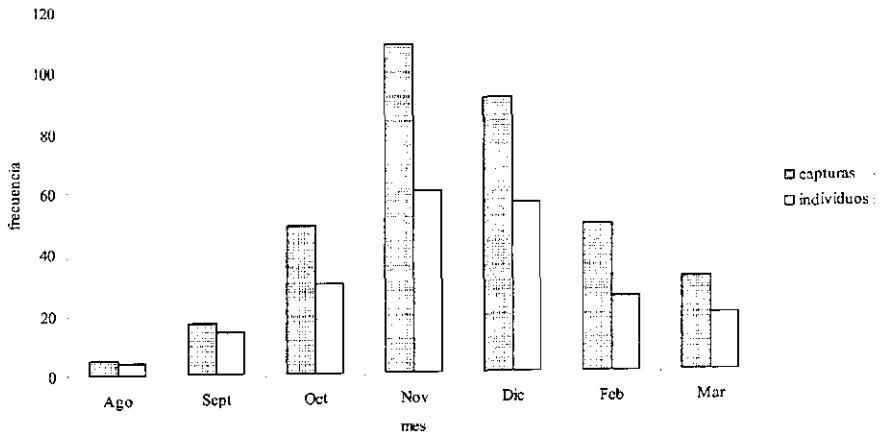


Figura 7. Variación temporal en la abundancia de *O. couesi cozumelae* en la Isla Cozumel (2002-2003).

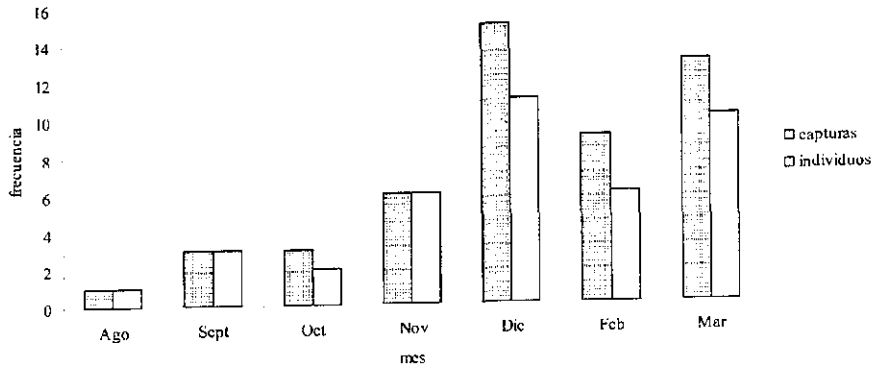


Figura 8. Variación temporal en la abundancia de *R. spectabilis* en la Isla Cozumel (2002-2003).

5.7 Efecto de luna

Oryzomys couesi cozumelae fue capturado tanto durante la luna nueva así como en la luna llena (Figura 9). Esta especie no modificó su actividad durante las fases oscura y luminosa de la luna. El índice de actividad (capturas/individuos, tomando en cuenta un mismo esfuerzo en ambas fases lunares) durante la luna nueva fue estadísticamente similar al de la luna llena (Cuadro 3), por tanto, esta especie no presenta un efecto de luna (ni fobia ni filia lunar). No hubo diferencia entre la actividad en la temporada seca y la lluviosa (Figura 10). Tampoco hubo una interacción entre los dos factores (fase lunar y temporada del año, Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados del análisis de varianza de dos vías (extensión de Kruskal-Wallis modificada por Schreirer, Ray y Hare) que compara la actividad de *Oryzomys couesi cozumelae* durante las fases oscura y luminosa de la luna y durante la temporada lluviosa y seca en la Isla Cozumel (2002-2003). Abreviaciones: sc = suma de cuadrados; mc = media de cuadrados; g.l. = grados de libertad; *P* = probabilidad.

Efecto	sc	sc/mc	g.l.	<i>P</i>
Lunas	0.563	0.025	1	0.875
Temporada	2.250	0.099	1	0.753
Lunas x temporada	22.563	0.995	1	0.318

En contraste, *R. spectabilis* fue capturado exclusivamente en luna nueva (Figura 9). Las 50 capturas de esta especie ocurrieron todas durante la fase oscura de la luna ($n = 16527$ noches-trampa). No registré actividad de esta especie durante la fase luminosa de la luna ($n = 2352$ noches-

trampa); por tanto, presenta un efecto de fobia lunar (inhibe su actividad en la luna llena). La comparación de los índices de actividad (que consideran un esfuerzo de muestreo igual entre ambas fases de la luna) entre la luna llena y la luna nueva confirmó este patrón (Figura 9). El índice de actividad fue mayor durante la estación lluviosa (Figura 11), sin embargo no hubo diferencias significativas con la estación seca ($t = 1,567$; g.l. = 3; $P = 0,215$).

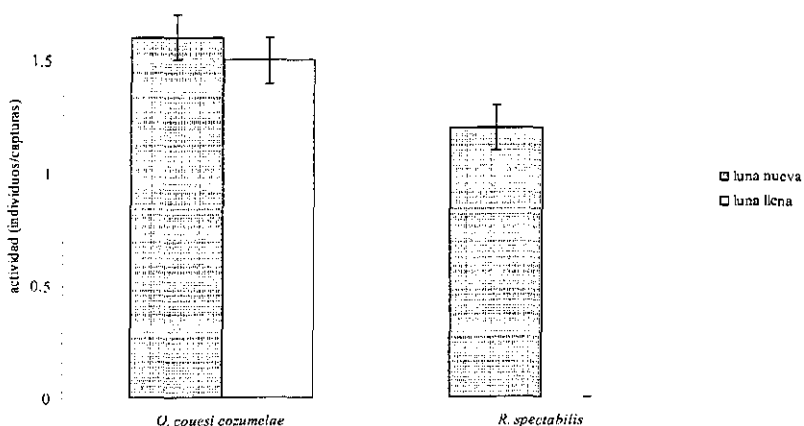


Figura 9. Actividad (capturas/individuos \pm error estándar) de los roedores endémicos de Isla Cozumel durante la luna nueva (fase oscura) y la luna llena (fase luminosa).

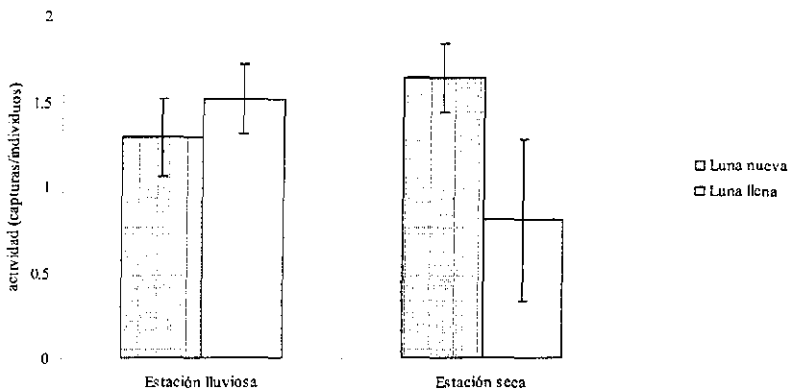


Figura 10. Actividad (capturas/individuos \pm error estándar) de *O. couesi cozumelae* según la temporada del año y la fase de la luna en la Isla Cozumel (2002-2003).

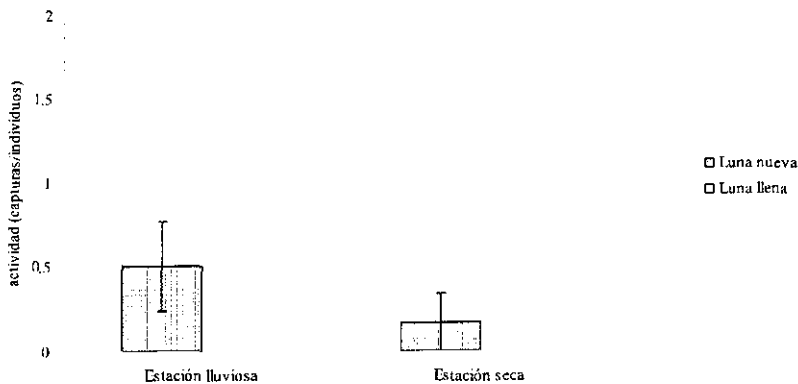


Figura 11. Actividad (capturas/individuos \pm error estándar) de *R. spectabilis* según la temporada del año y la fase de la luna en la Isla Cozumel (2002-2003).

VI. DISCUSIÓN

La extinción de mamíferos en islas es influenciada por diversos factores, como el tiempo de llegada de los seres humanos, el tamaño de la isla, la localización geográfica, la ecología de las especies y el tamaño corporal de las especies (Alcover *et al.* 1998). En México, los elementos antropogénicos que más han afectado a los mamíferos son la deforestación, la sobreexplotación y la introducción de especies exóticas (Ceballos *et al.* 2002). En el caso de Cozumel, el elemento más severo parece ser la introducción de especies (Cuarón *et al.* 2004).

Tomando en cuenta el esfuerzo de muestreo de roedores que se realizó en Cozumel del 2001 al 2004 por el grupo de trabajo de este proyecto de investigación, incluido este estudio (Gutiérrez-Granados 2003; González-Baca, datos no publicados), durante casi 40 mil trampas-noche no se obtuvo captura alguna de *Peromyscus leucopus cozumelae*. Estos resultados sugieren que esta subespecie está extinta. Su desaparición, así como la baja densidad de *Reithrodontomys spectabilis*, pueden ocasionar efectos en cascada sobre la vegetación de la isla y otros niveles tróficos, al perderse o reducirse la abundancia de eslabones en la red trófica (Terborgh *et al.* 1999).

6.1 Capturas y esfuerzo de muestreo

El único trabajo sobre la ecología de los roedores de Cozumel es el realizado por Gutiérrez-Granados (2003) durante 2001-2002. En este trabajo, el autor encontró dos especies de roedores en la isla:

Reithrodontomys spectabilis y *Oryzomys couesi cozumelae*. Gutiérrez-

Granados (2003) capturó un total de 122 individuos mediante un esfuerzo de muestreo de 16,794 trampas-noche. Estos resultados se acercan a los números que obtuve, en donde capturé un total de 157 individuos con un esfuerzo de 18,879 trampas noche. Traduciendo ambos resultados a abundancia de individuos/100 trampas-noche, Gutiérrez-Granados (2003) obtuvo 0.726 individuos/100 trampas-noche mientras que yo encontré 0.832 individuos/100 trampas-noche. El éxito de captura fue muy parecido en ambos estudios: 2.2% de julio de 2001 a agosto de 2002 (Gutiérrez-Granados 2003), y 2.3% de agosto de 2002 a marzo de 2003 (el presente estudio), por lo que, al considerar el monitoreo global, el éxito de captura ha permanecido estable en estos últimos años. No obstante, al considerar los muestreos mensuales existe una considerable variación temporal y espacial.

6.2 Densidad

La densidad que encontré para *Oryzomys couesi cozumelae*, fue de 14.5 ± 2.35 individuos/ha. Estos resultados son similares a los encontrados por Gutiérrez-Granados (2003), quien registro 16.5 ± 8.3 individuos/ha, pero considerando como área de muestreo la 0.5 ha de cada parcela de muestreo. En caso de calcular la densidad con ese mismo método, en el presente estudio hubiera obtenido una densidad casi igual (16.5 ± 32.7 individuos/ha). Para *Reithrodontomys spectabilis*, encontré una densidad de 3.3 ± 1.9 individuos/ha. Gutiérrez-Granados (2003) encontró una densidad de sólo 0.6 individuos/ha. Usando el mismo método que ese autor, yo hubiera registrado 3.1 ± 1.8 individuos/ha para esta especie.

Gutiérrez-Granados (2003) señala que la alta densidad de *Oryzomys couesi cozumelae* pudo verse favorecida por el declive de las poblaciones

de *Reithrodontomys spectabilis* y la posible extinción de *Peromyscus leucopus cozumelae*, al liberarse recursos por la desaparición o disminución poblacional de estos roedores. Antes del trabajo de Gutiérrez-Granados (2003) no hay datos sobre densidades poblacionales, pero lo reportado por Engstrom *et al.* (1989) sugiere que estos roedores eran abundantes a mediados de la década de 1980.

Engstrom *et al.* (1989) señalaron a *Peromyscus leucopus cozumelae* como el ratón más abundante de la isla (capturaron 83 ratones en cuatro días, con un esfuerzo de muestreo desconocido, pero seguramente mucho menor a nuestro esfuerzo de muestreo total). Esta subespecie fue capturada en todos los hábitat monitoreados, y era el único roedor común en la selva mediana subcaducifolia en la parte oeste de Isla Cozumel (Engstrom *et al.* 1989). Al haber sido tan abundante, su desaparición puede estar ligada a los eventos antropogénicos ocurridos en la isla durante los últimos años, como la introducción de fauna exótica a la isla.

Una cuestión importante es que los muestreos de Engstrom *et al.* (1989) se realizaron antes del huracán Gilberto de 1988. El huracán Gilberto fue uno de los mayores registrados en Cozumel, y evidencias anecdóticas indican que afectó la composición y estructura de la biota de la isla. Sin embargo, dado que hay una coincidencia temporal entre el contacto del huracán Gilberto y el crecimiento poblacional de la boa en Cozumel, es difícil separar los efectos de estos dos eventos. Además es posible que hubiera un efecto sinérgico de ambos tipos de perturbaciones.

Dado que los muestreos de Engstrom *et al.* (1989) se realizaron durante agosto de 1984, es importante señalar que el mes de agosto ha sido el mes de menor éxito de captura en los últimos 3 años, tal vez debido a las fluctuaciones anuales de las poblaciones de roedores (Figuras 7 y 8).

Engstrom *et al.* (1989) en sólo cuatro días (y un esfuerzo de muestreo desconocido, pero menor al nuestro) capturaron 130 roedores, mientras que yo logré capturar tan sólo 157 individuos en siete periodos de muestreo a lo largo de ocho meses. Por tanto, muy probablemente las poblaciones de ratones eran mucho mayores en 1984 que lo que son ahora.

Las expediciones de colecta de Engstrom *et al.* (1989), Jones y Lawlor (1965) y Reid (1997) no proveen información acerca del estado poblacional de las especies nativas de roedores de la isla, por tanto es imposible hacer comparaciones de tipo ecológico. Las siguientes comparaciones son únicamente de carácter cualitativo.

Reithrodontomys spectabilis era considerado como ocasional por Engstrom *et al.* (1989), y como bastante común en vegetación secundaria y bordes de selva baja por Reid (1997). Sin embargo, no encontré una población abundante de *R. spectabilis* en la isla. *Reithrodontomys spectabilis* ha sido descrito como semiarbóricola (Jones y Lawlor 1965). Los resultados que reporto aquí están basados en un esfuerzo de muestreo que realicé con trampas colocadas en el suelo. Sin embargo, también coloqué trampas aéreas durante el mes de marzo. Estas trampas fueron ubicadas sobre los troncos de los árboles a una altura aproximada de un metro y medio. Los resultados de ese esfuerzo no se muestran en este trabajo, pero capturé algunos ejemplares de *R. spectabilis*, así como de *Oryzomys couesi cozumelae*. De ambas especies, la mitad de los individuos eran recapturas de ratones que habían sido capturados en trampas terrestres. Muestreos de roedores en selva mediana subcaducifolia en otra zona de la isla con trampas colocadas en el suelo, resultaron en un éxito de captura de *R. spectabilis* comparativamente mayor al registrado en el presente estudio

(González-Baca, datos no publicados). Por tanto, *R. spectabilis* puede ser capturado tanto en trampas aéreas como terrestres.

Varios autores han encontrado fluctuaciones periódicas en la abundancia de las poblaciones de mamíferos en ecosistemas templados y árticos (ver Korpimäki y Krebs 1996, Krebs 1994, Boonstra *et al.* 1998). Existen varias hipótesis para explicar la causa de la fase de baja densidad poblacional: un modelo postula que son las influencias externas, como el alimento, la depredación, o alguna enfermedad, las responsables del bajo crecimiento de la población (Boonstra *et al.* 1998). Otro modelo señala que son las características fisiológicas y conductuales de los organismos las que limitan el crecimiento de la población durante esta fase (Boonstra *et al.* 1998). Es importante determinar si las poblaciones de mamíferos tropicales también presentan este tipo de fluctuaciones (ver Flemming 1974, Vázquez *et al.* 2000) además de las fluctuaciones anuales (Figura 8), pues tal vez la población de *Reithrodontomys spectabilis* esté pasando por un período de baja densidad. Es probable que la población de esta especie esté disminuyendo su tamaño a causa de la depredación por especies exóticas.

Engstrom *et al.* (1989) encontraron que *Oryzomys couesi cozumelae* era una subespecie relativamente común en bosque secundario y en diversos tipos de vegetación. Jones y Lawlor (1965) lo señalaron como abundante en matorral secundario y enredaderas. Yo encontré que esta subespecie es la más abundante de los roedores de la isla. Esto puede ser en parte debido sus características en el comportamiento de huída, ya que al parecer es mucho más veloz que *Reithrodontomys spectabilis* (obs. pers.), lo cual le confiere ventajas de sobrevivencia a la depredación.

No obtuve ninguna captura de *Rattus rattus* durante el muestreo, a pesar de que Engstrom *et al.* (1989) encontraron varios ejemplares en áreas

cubiertas de vegetación cerca de asentamientos humanos, así como a varios kilómetros de éstos, en selva baja y mediana subcaducifolia al sur y oeste de la isla. La ausencia de *Rattus rattus* en la zona habitada por roedores endémicos sugiere que esta especie introducida ya no está invadiendo áreas naturales. También indica que hay algo que está limitando sus poblaciones en la isla. En abril de 2004 se capturaron un par de especímenes en restaurantes ubicados en la costa este de la isla – los primeros registros de *Rattus* en áreas rurales de Cozumel, en tres años de trabajo de campo (Cuarón y González-Baca, com. pers.). La razón de su ausencia en selva es desconocida, aunque puede ser debido a su vulnerabilidad ante otros depredadores introducidos. Una posibilidad adicional, aunque quizás menor, es que esta especie oportunista sea intolerante a algunos factores climáticos, como los frecuentes huracanes que azotan la isla.

6.3 Proporción de sexos y medidas morfométricas

La proporción de sexos para *Oryzomys couesi cozumelae* fue de 1.3:1 con una mayor tendencia hacia los machos, aunque no de manera significativa. Esta proporción es muy cercana al equilibrio 1:1 encontrado por Gutiérrez-Granados (2003). Encontré una proporción de 0.9:1 en *Reithrodontomys spectabilis* con una mayor tendencia hacia las hembras, aunque no fue significativa. Gutiérrez-Granados (2003) encontró una proporción de 1:4, con la misma tendencia favoreciendo a las hembras, aunque su tamaño de muestra fue mucho menor para esta especie ($n = 5$).

En general, las medidas morfométricas de *Oryzomys couesi cozumelae* y *Reithrodontomys spectabilis*, no guardan diferencias significativas ente macho y hembra, con excepción del peso y la longitud de

cola en *O. couesi cozumelae*, que son significativamente mayores en los machos. Estas diferencias en *Oryzomys* concuerdan con la generalidad de que los machos son mayores que las hembras, probablemente debido a la competencia reproductiva (Eisenberg 1981).

6.4 Estado reproductivo

En *Oryzomys couesi cozumelae*, el período reproductivo de los machos se traslapa con el de las hembras durante tres meses: febrero, marzo y septiembre (Figura 4). En *Reithrodontomys spectabilis*, el período reproductivo es menor, y debido al reducido número de individuos, sólo se observa un traslape durante el mes de marzo (Figura 5). En ambos casos, estos meses corresponden a períodos posteriores a la estación de lluvias en verano, o a las lluvias provocadas por los vientos del norte en invierno. No se cuenta con información sobre la disponibilidad de alimento para los ratones a lo largo del año, pero es posible que este sea un factor que influya en el estado reproductivo de los roedores de Cozumel.

6.5 Variación espacial

Las variaciones espaciales que encontré en la abundancia de roedores de Cozumel no corresponden con las variaciones encontradas en 2001-2002 (Gutiérrez-Granados, 2003). En ese estudio, los sitios de muestreo más exitosos fueron el 3, 5 y 4, mientras que los sitios de menor abundancia de roedores fueron los sitios 9, 2 y 8. Cada sitio de muestreo se puede considerar como independiente de los otros, ya que aunque hay alguna movilidad de individuos entre parcelas de un mismo sitio, no se detectó movilidad de roedores entre los sitios. Desconozco la razón de las

diferencias en abundancia de roedores entre los sitios y entre los ejes, aunque posiblemente pueden deberse a que cada sitio de muestreo tiene una población diferente, y cada una de estas poblaciones probablemente posee sus propias fluctuaciones de abundancia a lo largo del tiempo. Puede ser también debido a la distribución y las diferencias en abundancia de los depredadores entre los sitios.

Se ha estudiado la relación entre la estructura de los sitios de muestreo (v.gr. riqueza y abundancia de plántulas, cantidad de refugios potenciales, cantidad de árboles, cobertura del dosel), la remoción de semillas y la abundancia de los roedores en Cozumel (Gutiérrez-Granados, 2003). De las variables mencionadas, sólo se encontró una relación positiva entre la abundancia de ratones y la riqueza de morfoespecies de plántulas. De esta forma, existe una interacción aparente entre los roedores y la riqueza de especies vegetales en el sotobosque de la isla (Gutiérrez-Granados, 2003). En el experimento de remoción de semillas, el autor no encontró una relación significativa entre la abundancia de roedores y la cantidad de semillas removidas. Sin embargo, encontró que los sitios con mayor porcentaje de semillas remanentes fueron, en orden de importancia, los sitios 2, 4 y 8. Estos sitios coinciden con tres de mis sitios de mayor abundancia de ratones (Figura 6). Es posible que la remanencia de semillas en ese entonces haya tenido alguna relación con la baja abundancia de roedores en sitios con buena cantidad de alimento. La mayor disponibilidad de alimento quizás favoreció el crecimiento posterior de la población en esos sitios. Sin embargo, la razón por la cual la gran extensión de selva sea heterogénea en cuanto a la distribución y abundancia de los roedores, queda aún por determinarse.

6.6 Variación temporal

La variación temporal de *Oryzomys couesi cozumelae* tiene una distribución normal con un pico de capturas e individuos en el mes de noviembre, es muy probable que esta curva se deba a las fluctuaciones producto del crecimiento y el decremento anual de la población. Para *Reithrodontomys spectabilis*, la variación temporal tiene un pico de capturas e individuos en diciembre y otro menor en marzo, lo cual concuerda con la temporada reproductiva para esta especie (octubre, noviembre, febrero y marzo).

La marcada variación en el tiempo hace a las poblaciones de *Oryzomys couesi cozumelae* y *Reithrodontomys spectabilis* más vulnerables ante las catástrofes, pues la isla es frecuentemente azotada por huracanes (Martínez-Morales y Cuarón 1999) y éstos pueden tener consecuencias graves en las pequeñas poblaciones de roedores (Gutiérrez-Granados 2003).

6.7 Efecto de luna

En varios estudios con roedores nocturnos, (v.gr., O'Farrell 1974, Price *et al.* 1984 y Wolfe y Summerlin 1989) se ha encontrado que la luminosidad de la luna influye de forma negativa en su actividad nocturna, afectando el número de capturas durante el muestreo. El riesgo de encontrar un depredador es uno de los factores que determina el uso del hábitat (Falkenberg y Clarke 1998), por lo que algunas especies evitan realizar sus actividades durante la fase luminosa de la luna. El comportamiento nocturno de los roedores es determinado en parte por la importancia relativa de los depredadores en la región, y si sus estrategias de caza dependen o no de la iluminación nocturna (Bouskila 1995).

La presencia de un efecto de luna en la actividad de los roedores pudiera indicar cierta plasticidad conductual en estos animales, como respuesta a depredadores introducidos (principalmente a causa de las boas y los gatos domésticos, ya que sus hábitos son principalmente nocturnos y comúnmente se alimentan de roedores). Este cambio en su actividad entre las fases lunares como forma de defensa puede representar un factor importante en la sobrevivencia de las especies nativas en comunidades invadidas, ya que los individuos nativos capaces de detectar y responder a depredadores introducidos pueden ser menos vulnerables (Whitlow *et al.* 2003).

Es posible que el efecto de luna encontrado en *Reithrodontomys spectabilis* esté influenciado por el hecho de que los sitios muestreados fueron elegidos al azar, sin considerar la curva de crecimiento poblacional en la variación temporal de la especie, y sin tomar en cuenta la variación espacial, ya que son solo tres los sitios donde eventualmente se encontró este roedor. Por ejemplo, por azar, el sitio donde *R. spectabilis* fue más abundante (sitio 4), se muestreó para determinar el efecto de luna en un periodo de baja abundancia poblacional (septiembre). En un periodo de relativamente mayor abundancia (marzo), se trabajó en sitios (2 y 5) en los que nunca se capturó la especie.

El efecto de luna pudo detectarse al comparar para un mismo mes la fase de luna llena y de luna nueva en los mismos sitios de muestreo. Es de destacarse que a lo largo del estudio no se capturó a *R. spectabilis* durante la luna llena, pero durante la luna nueva se capturó a la especie 50 veces. Aunque el esfuerzo total en ambas fases de la luna está desbalanceado, este resultado y la comparación de los índices de actividad sugieren que la

especie reduce notablemente su actividad durante las noches luminosas del mes.

Puede ser que *R. spectabilis* sea más vulnerable a los depredadores de la isla debido a sus hábitos (nocturnos, arborícolas) y comportamiento, y por lo tanto tiende a evitarlos durante la fase luminosa de la luna. Para muchos mamíferos pequeños, la observación directa de sus depredadores representa un alto riesgo de depredación, y reducen su actividad en la luna llena (Powell y Banks 2004). Por otra parte, Bouskila (1995) señala que si una especie de ratón realiza sus actividades nocturnas sólo en la fase oscura de la luna, no podría observar a sus depredadores, lo cual lo haría presa fácil de depredadores que puedan detectarlos aún en la oscuridad absoluta (Grace y Woodward 2001). Este puede ser el caso de las boas y gatos en la Isla Cozumel.

Algunas investigaciones de campo sugieren que las presas perciben sólo muy débilmente del olor del depredador (Powell y Banks 2004) o si lo perciben no modifican su comportamiento (Jonsson *et al.* 2000), mientras que investigaciones de laboratorio demuestran lo contrario (Weldon *et al.* 1987). Finalmente, aunque el olor del depredador señala peligro para la presa, cada individuo debe balancear el riesgo de depredación contra los beneficios del forrajeo y la reproducción (Lima 1998), y es este costo-beneficio el que modifica el comportamiento de respuesta de los roedores durante la actividad nocturna.

La ausencia de un efecto de luna en *Oryzomys couesi cozumelae* señala que si esta especie está siendo afectada por los depredadores nocturnos de la isla, no ha adquirido la plasticidad conductual necesaria para modificar sus hábitos. Tal vez el hecho de que *Oryzomys* sea más grande y más rápido que *Reithrodontomys* lo hace menos vulnerable a los

depredadores, y por tanto no necesite evitar la luna llena. Este comportamiento en el que la luminosidad nocturna no afecta las actividades de la población ha sido observado en algunas poblaciones de ratones (ver referencias en Wolfe y Summerlin 1989).

El hecho de que no exista variación en la actividad de *Oryzomys* durante la fase luminosa y oscura del mes y durante la estación de lluvia y de secas, sugiere que la cobertura vegetal que crece durante la época de lluvia no sea suficiente para proveer a los roedores de refugios nocturnos en las noches luminosas, tal vez porque aunque este tipo de refugios funcionan contra depredadores aéreos o mamíferos medianos, no proporcionan un sitio seguro contra reptiles como la boa (Kotler 1984, Longland y Price 1991, Bouskila 1995).

La existencia o no de variación en la actividad de los roedores con respecto a la fase de la luna tiene una influencia indirecta sobre la abundancia de sus poblaciones. Si los hábitos de los roedores durante la fase oscura y luminosa de la luna los hacen más, o menos vulnerables ante los depredadores, este comportamiento probablemente se refleje en la sobrevivencia, y como consecuencia en la abundancia de ratones de la isla.

6.8 Recomendaciones

La funcionalidad de los ecosistemas depende en gran medida de la diversidad biológica. Por tanto es necesario conservar la biodiversidad de Cozumel para mantener los procesos ecológicos y evolutivos de la isla. Ello requiere realizar un manejo de la fauna endémica de la isla, poniendo especial énfasis en las especies que son depredadas por las especies introducidas. Estas poblaciones nativas son pequeñas y tal vez incapaces de

defenderse de forma efectiva de depredadores exóticos. Las poblaciones de especies exóticas deben tener un manejo especial, buscando su control o idealmente erradicación de Cozumel, y deben evitarse posteriores introducciones de fauna exótica a la isla.

Es importante considerar que para un manejo eficiente de la biota de la isla, es imprescindible realizar conjuntamente programas de educación ambiental que promuevan o refuercen la apreciación, conocimiento, percepciones y actitudes positivas hacia la biota nativa de Cozumel y que promuevan la participación social para la resolución de la crisis de conservación en la isla. Por otra parte, se desconocen varias cuestiones acerca de la biología de las poblaciones de roedores en la isla (reproducción, hábitos alimentarios, fisiología, comportamiento), por lo que es recomendable investigar más a fondo cada especie.

Es necesario realizar un programa de reproducción en cautiverio para *Reithrodontomys spectabilis* y para *Peromyscus leucopus cozumelae*, en caso de que algún día se redescubra, con el propósito de mantener muestras representativas de las especies en condiciones seguras (libres de depredación y de eventos catastróficos como los huracanes), además de ser potenciales fuentes para reforzar o reestablecer poblaciones en estado silvestre en Cozumel. En cautiverio también se pudiera obtener información valiosa sobre distintos aspectos de la biología de las especies que difícilmente se pudiera recopilar en el campo. Este tipo de programas pudieran apoyar las actividades de educación ambiental mencionadas.

VII. CONCLUSIONES

Actualmente, la Isla Cozumel alberga dos especies de roedores endémicos, *Oryzomys couesi cozumelae* y *Reithrodontomys spectabilis*. La subespecie endémica *Peromyscus leucopus cozumelae* está probablemente extinta. La abundancia de *Reithrodontomys spectabilis* es extremadamente baja y su distribución es dispersa, lo que sugiere que esta especie se encuentra en grave peligro de extinción. Es posible que especies introducidas (*Boa constrictor*) y la población feral de especies domésticas (perros y gatos) que están establecidas en la isla, hayan contribuido a la probable extinción de *Peromyscus leucopus cozumelae*, así como al declive de la población de *Reithrodontomys spectabilis*.

Existe una marcada variación espacial y temporal en la abundancia de *Oryzomys couesi cozumelae* y *Reithrodontomys spectabilis*, por lo cual las poblaciones de estas especies son vulnerables ante eventos catastróficos, como los huracanes.

La actividad de *Oryzomys couesi cozumelae* no se ve afectada por la luminosidad de la luna. En cambio la luminosidad lunar sí afecta la actividad de *Reithrodontomys spectabilis*. El efecto de luna en la actividad de los roedores de Isla Cozumel no varía con la estacionalidad (lluvia/secas). Las razones por las que exista o no este efecto de luna no están determinadas, aunque puede deberse a los hábitos y comportamiento de cada especie.

VIII. LITERATURA CITADA

- Alcover, J.A., A. Sans y M. Palmer. 1998. The extent of extinctions of mammals on islands. *Journal of Biogeography*, 25: 913-918.
- Álvarez-Castañeda, S.T. y Ortega-Rubio A. 2003. Current status of rodents on islands in the Gulf of California. *Biological Conservation*, 109: 157-163.
- Baillie, J. 1996. *Reithrodontomys spectabilis*. En: IUCN 2003. *2003 IUCN Red List of Threatened Species*. www.redlist.org.
- Boonstra, R., C.J. Krebs y N.C. Stenseth. 1998. Population cycles in small mammals: the problem of explaining the low phase. *Ecology*, 79 (5):1479-1488.
- Bouskila, A. 1995. Interactions between predation risk and competition: a field study of kangaroo rats and snakes. *Ecology*, 76: 165-179.
- Campbell, R.C. 1989. *Statistics for Biologists*. Cambridge University Press.
- Ceballos, G. y P. Rodríguez. 1993. Diversidad y conservación de los mamíferos de México: II. Patrones de endemidad. En: Medellín, R.A. y G. Ceballos (eds.) *Avances en el Estudio de los mamíferos de México*. Publicaciones Especiales, Vol. 1, Asociación Mexicana de Mastozoología, A.C., México, D.F.
- Ceballos G. y J.H. Brown. 1994. Global patterns of mammalian diversity, endemism and endangerment. *Conservation Biology* 9 (3): 559-568.
- Ceballos G, J. Arroyo-Cabrales y R.A. Medellín. 2002. Mamíferos de México. En: Ceballos, G. y J.A. Simonetti (eds.) *Diversidad y conservación de los mamíferos neotropicales*. CONABIO-UNAM. México, D.F.

- Cuarón, A.D., M.A. Martínez-Morales, K.W. McFadden, D. Valenzuela y M.E. Gompper. 2004. The status of dwarf carnivores in Cozumel Island, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 13:317.
- Daly, M., P.R. Behrends, M.I. Wilson y L.F. Jacobs. 1992. Behavioural modulation of predation risk: moonlight avoidance and crepuscular compensation in a nocturnal desert rodent, *Dipodomys merriami*. *Animal Behaviour*, 44:1-9.
- de Cock Buning, T. 1983. Thermal sensitivity as a specialization for prey capture and feeding in snakes. *American Zoologist*, 23 (2): 363-375.
- Diamond, J. y T.J. Case. 1986. Overview: introductions, extinctions, exterminations, and invasions. *En*: Diamond, J, y T.J. Case (eds.). 1986. *Community Ecology*. Harper & Row Publishers, Nueva York.
- Dickman, C.R. 1992. Predation and habitat shift in the house mouse, *Mus domesticus*. *Ecology*, 73 (1): 313-322.
- Eisenberg, J.F. 1981. *The Mammalian Radiations: an analysis of trends in evolution, adaptation, and behaviour*. The University of Chicago Press. U.S.A.
- Engstrom, M.D., C.A. Schmidt, J.C. Morales y R.C. Dowler. 1989. Records of Mammals from Isla Cozumel, Quintana Roo, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 34 (3): 413-449.
- Falkenberg, J.C. y J.A. Clarke. 1998. Microhabitat use of deer mice: effects of interspecific interactions risk. *Journal of Mammalogy* 79 (2): 558-566.
- Fleming, T.H. 1974. The population of two species of Costa Rican heteromyid rodents. *Ecology*, 55: 493-510.
- Fritts, T.H. y G.H Rodda. 1998. The role of introduced species in the degradation of islands ecosystems: a case history of Guam. *Annual*

- Review of Ecology and Systematics. 29: 113-40.
- Gannon, M.R. y M.R. Willig. 1997. The effect of lunar illumination on movement and activity of the red fig-eating bat (*Stenoderma rufum*). *Biotropica* 29 (4): 525-529.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México.
- Godoy-Bergallo, E. y W.E. Magnusson. 1999. Effects of climate and food availability on four rodent species in southeastern Brazil. *Journal of Mammalogy*, 80 (2):472-486.
- Grace, M.S. y O.M. Woodward. 2001. Altered visual experience and acute visual deprivation affect predatory targeting by infrared-imaging Boid snakes. *Brain Research*, 919: 250-258.
- Gursky, S. 2003. Lunar philia in a nocturnal primate. *International Journal of Primatology*. 24 (2): 351-367.
- Gutiérrez-Granados, G. 2003. Ecología de los ratones de Cozumel y su relación con el sotobosque. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ecología, Departamento de los Recursos Naturales.
- Hecker, K.R. y R.M. Brigham. 1999. Does moonlight change vertical stratifications of activity by forest-dwelling insectivorous bats? *Journal of Mammalogy*, 80 (4): 1196-1201.
- Hilton-Taylor, C. (compilador) (2000). 2000 IUCN Red List of Threatened Species IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Howell S. y S. Webb. 1995. A guide to the birds of Mexico and Northern Central America. Oxford University Press, New York.
- Jolly, G.M. y J.M. Dickson. 1983. The problem of unequal catchability in mark-recapture estimations of small mammal populations. *Canadian*

- Journal of Zoology, 61: 922-927.
- Jones, C., W.J. McShea, M. Conroy y T.H. Kunz. 1996. Capturing mammals. En: Wilson, O.E., F.R. Cole, J.D. Nichols, R. Rodran y M.S. Foster (eds.). Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for mammals. Smithsonian Institution Press. Washington y Londres.
- Jones, J.K., Jr. y T.E. Lawlor, 1965. Mammals from Isla Cozumel, México, with description of a new species of harvest mouse. University of Kansas Publications, Museum of Natural History. 16: 409-419.
- Jones, J.K., Jr. 1982. *Reithrodontomys spectabilis*. Mammalian Species, 193.
- Jonsson, P., E. Koskela y T. Mappes. 2000. Does risk of predation by mammalian predators affect the spacing behaviour of rodents? Two large scale experiments. *Oecologia* 122: 487-492.
- Kaufman, D.W. y G.A. Kaufman. 1982. Effect of moonlight on activity and microhabitat use by Ord's Kangaroo rat (*Dipodomys ordii*). *Journal of Mammalogy* 63 (2): 309-312.
- Korpimäki, E. y C.J. Krebs. 1996. Predation and population cycles of small mammals. *Bioscience* 46 (10): 754-765.
- Kotler, B. P. 1984. Risk of predation and the structure of desert rodents communities. *Ecology* 65 (3): 689-701.
- Krebs, C.J. 1966. Demographic changes in fluctuating populations of *Microtus californicus*. *Ecological monographs*, 36 (3): 239-273.
- Krebs, C.J. 1994. Population cycles revisited. *Journal of Mammalogy* 77 (1): 8-24. Krebs, C.J. 1999. *Ecological Methodology*. Addison Wesley Longman.
- Lee, J.C. 2000. A field guide to the amphibians and reptiles of the Maya

- world. The lowlands of Mexico, northern Guatemala and Belice. Cornell University Press.
- Lesser-Jones, H., J. Azpetia-Reyes y J.M. Lesser-Ilades. 1977. Geohidrología de la Isla de Cozumel, Quintana Roo. Proyecto CONACYT NSF 704 SARH. Datos no publicados.
- Lima, S.L. 1998. Stress and decision making under the risk of predation: recent developments from behavioral, reproductive and ecological perspectives. *Adv Stud Behav* 27: 215-290.
- Longland, W.S. y M.V. Price. 1991. Direct observations of owls and heteromyid rodents: can predation risk explain microhabitat use? *Ecology* 72 (6): 2261-2271.
- Macouzet, T.M. 1997. Diversidad avifaunística de la Isla Cozumel, Quintana Roo, México. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, División de Estudios de Posgrado.
- MacPhee, R.D.E. y C. Flemming. 1999. Requiem Æternam: the last five hundred years of mammalian species extinctions. *En: MacPhee, R.D.E. (ed.) Extinctions in the near time. Causes, contexts and consequences.* Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Martínez-Morales, M.A. 1996. The Cozumel curassow: abundance, habitat preference and conservation. Tesis de maestría. Universidad de Cambridge, U.K.
- Martínez-Morales, M.A. y A.D. Cuarón. 1999. *Boa constrictor*, an introduced predator threatening the endemic fauna on Cozumel Island, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 8: 957-963.
- Major, J. 1988. Endemism: a botanical perspective. *En: Myers A.A. y P.S.*

- Giller (eds.) *Anatolical Biogeography, an integrated approach to the study of animal and plant distributions*. Chapman and Hall. UK.
- Mellink, E.G., G. Ceballos y J. Lucvano. 2002. Population demise and extinction treat of the Angel de la Guarda deer mouse (*Peromyscus guardia*). *Biological Conservation*, 108: 107-111.
- Michaux, J.R., J.Gouÿ de Bellocq, M. Sarà y S. Morand. 2002. Body size increase in insular rodent populations: a role for predators? *Global Ecology and Biogeography*, 11: 427-436.
- Nogales, M., A. Martín, B.R. Tershy, C.J. Donlan, D. Veitch, N. Puerca, B. Wood y J. Alonso. 2004. A review of feral cat eradication on islands. *Conservation Biology*, 18 (2): 310-317.
- O'Farrell, M.J. 1974. Seasonal activity patterns of rodents in a sagebrush community. *Journal of Mammalogy*, 55 (4): 809-823.
- Powell, F. y P.B. Banks. 2004. Do house mouse modify their foraging behaviour in response to predator odours and habitat? *Animal Behaviour*, 67: 753-759.
- Price, M.V., N.M. Waser y T.A. Bass. 1984. Effects of moonlight on microhabitat use by desert rodents. *Journal of Mammalogy*, 65 (2): 353-356.
- Reid, F.A. 1997. *A field guide to the mammals of Central America and Southeastern Mexico*. Oxford University Press, Nueva York.
- Rodda, G.H., T.H. Fritts y D.Chiszar. 1997. The disappearance of Guam's Wildlife. *Bioscience*, 47 (9): 565-574.
- Romero-Nájera, I. Distribución, abundancia y uso de hábitat de *Boa constrictor* introducida a la Isla Cozumel. Tesis de maestría, UNAM. México.
- Sánchez-Cordero, V. 1993. Estudio de la rata espinosa *Heteromys*

- desmarentianus* en la selva húmeda en Veracruz, México. *En*: Medellín, R.A. y G. Ceballos (eds.). 1993. Avances en el Estudio de los Mamíferos de México. Publicaciones Especiales, Vol. I, Asociación Mexicana de Mastozoología, A.C., México, D.F.
- SEMARNAT. 2002. NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental, especies nativas de México de flora y fauna silvestres –Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, marzo: 1-85. México D.F.
- Sokal, R.R y F.J. Rohlf. 1981. Biometry. 2a edición. W.H. Freeman and Company, Nueva York.
- Taylor, II.L. y C.R. Cooley. 1995. A multivariate analysis of morphological variation among parthenogenetic Teiid lizards of the *Cnemidophorus cozumelae* complex. *Herpetologica* 51: 67-76.
- Téllez-Valdés, O., E. Cabrera, E. Linares y R. Bye. 1993. Las plantas de Cozumel. Guía botánico-turística de la Isla de Cozumel, Quintana Roo. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Terborgh, J., J.A. Estes, P. Paquet, K. Ralls, D. Boyd-Heger, B.J. Miller y R.F. Noss. 1999. The role of top carnivores in regulating terrestrial ecosystems. *En*: Soulé, M.E. y J. Terborgh (eds.). *Continental Conservation*. Island Press, Washington, D.C.
- UICN. 2003 The UICN red list of threatened species. www.redlist.org
- Vázquez, L.B., R.A. Medellín, y G.N. Cameron. 2000. Population and community ecology of small rodents in montane forest of western Mexico. *Journal of Mammalogy*, 81 (1): 77-85.
- Weldon, P.J., F.M. Divita y G.A. Middendorf III. 1987. Responses to snake

- odours by laboratory mice. *Behavioural Processes* 14 (2): 137-146.
- Whitlow, W.L., N.A. Rice y C. Sweeney. 2003. Native species vulnerability to introduced predators: testing an inducible defense and a refuge from predation. *Biological Invasions* 5: 23-31.
- Wilcox, B.A. 1980. *Insular biology and conservation*. *En: Soulé, M.E. y B.A. Wilcox (eds.). Conservation biology, an evolutionary-ecological perspective*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts.
- Wilson D.E. y D.M. Reeder (eds.) 1993. *Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
- Wolfe, J.L y C.T. Summerlin. 1989. The influence of nocturnal activity of the old-field mouse. *Animal Behavior*, 37: 410-414.
- Zar, J.H. 1996. *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall International Editions. New Jersey.
- Zug, G.R., L.J. Vitt y J. P. Caldwell. 2001. *Herpetology: an introductory biology of amphibians and reptiles*. Academic Press, E.U.A.