

**Informe final\* del Proyecto LI028**  
**Diagnóstico de las invasiones biológicas de vertebrados exóticos en la Isla Cozumel y propuesta de plan para su manejo\***

**Responsable:** Dr. Alfredo David Cuarón Orozco  
**Institución:** Servicios Ambientales, Conservación Biológica y Educación  
**Dirección:** Callejón del Aguacate # 95, Barrio de Santa Catarina, de México, DF, 04010 , México  
**Teléfono/Fax:** (55) 46022848 y (314) 1062678  
**Fecha de inicio:** Agosto 29, 2014.  
**Fecha de término:** Julio 4, 2019.  
**Principales resultados:** Base de datos, fotografías, informe final.  
**Forma de citar\*\* el informe final y otros resultados:** Cuarón, A.D., Martínez-Morales, M.A., Valenzuela-Galván, D., Vázquez-Domínguez, E. y L.B. Vázquez. 2019. Diagnóstico de las invasiones biológicas de vertebrados exóticos en la Isla Cozumel y propuesta de plan para su manejo. Servicios Ambientales, Conservación Biológica y Educación A. C. **Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No. LI028.** Ciudad de México.

**Resumen:**

La Isla Cozumel tiene una extraordinaria diversidad biológica, con un alto nivel de endemismo, y que se encuentra severamente amenazada por las especies de vertebrados exóticos a la isla: perros ferales (*Canis familiaris*), gatos ferales (*Felis catus*), ratas (*Rattus sp*), ratones (*Mus musculus*) y boa (*Boa constrictor*). Se realizará un diagnóstico del estado de las invasiones biológicas de vertebrados exóticos en la Isla Cozumel, obteniendo y sistematizando información para las cinco principales especies de vertebrados invasores exóticos en la porción terrestre de la isla. Para ello se recopilará información de campo sobre la distribución y abundancia de perros y gatos ferales, ratas y ratones de casa, y de la boa, y se sistematizará información sobre ese mismo tema que hemos recabado en Cozumel desde 1994. Adicionalmente, con el propósito de entender mejor los patrones de poblamiento y de dispersión de individuos en la isla, determinaremos la diversidad y estructura genética de las especies de roedores exóticos (*Mus musculus* y *Rattus sp*) utilizando marcadores moleculares nucleares (microsatélites). La información obtenida y sistematizada se utilizará para diseñar un plan de manejo con el propósito de controlar, e idealmente erradicar, a las especies de vertebrados exóticos de Cozumel y que permita la recuperación y conservación de las especies de vertebrados nativos de la isla.

- 
- \* El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)
  - \*\* El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

## PROYECTO LI028

### Diagnóstico de las invasiones biológicas de vertebrados exóticos en la Isla Cozumel y propuesta de plan para su manejo

Informe Final

21 de septiembre de 2018

#### Investigador responsable

Dr. Alfredo D. Cuarón / SACBÉ

#### Investigadores participantes

Dr. Miguel Angel Martínez Morales / ECOSUR

Dr. David Valenzuela Galván / CIByC, UAEM

Dra. Ella Vázquez Domínguez / IE, UNAM

Dr. Luis Bernardo Vázquez Hernández / ECOSUR

#### Asistentes de proyecto

M. en C. Ariadna Tobón Sampedro / ECOSUR

M. en C. Jennyfer Fabiola Rodríguez Femat / ECOSUR

M. en C César Ricardo Rodríguez-Luna / CIByC, UAEM

M. en C. Sayra Espindola / IE, UNAM

Biól. Óscar Romero / IE, UNAM

Mariana Diaz Avila / SACBÉ

#### Tesistas

Biól. Fernando Ortíz-Alcántara / Maestría en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación,  
CIByC, UAEM

Biól. Jessica Thompson Ambríz / ECOSUR

Biól. Luisa Fernanda Palacios Aldana / ECOSUR

Gabriela Borja / Facultad de Ciencias, UNAM

## Resumen

La isla Cozumel tiene una extraordinaria diversidad biológica con un alto nivel de endemismo que se encuentra severamente amenazada por las especies de vertebrados exóticos a la isla: perros ferales (*Canis familiaris* = *Canis lupus familiaris*), gatos ferales (*Felis catus*), ratas (*Rattus rattus*), ratones (*Mus musculus*) y boa (*Boa imperator*). Realizamos un diagnóstico del estado de las invasiones biológicas de vertebrados exóticos en la isla Cozumel, obteniendo y sistematizando información para las cinco principales especies de vertebrados invasores exóticos en la porción terrestre de la isla. Recopilamos información de campo sobre la distribución y abundancia de perros y gatos ferales, ratas y ratones de casa, y de la boa, y sistematizamos información sobre ese mismo tema que hemos recabado en Cozumel desde 1994. Durante el desarrollo de este proyecto hemos generado 230 registros de campo de especies exóticas y además hemos compilado 958 registros históricos de las cinco especies de estudio. Con estos 1,188 registros hemos superando en un 850% el total (140) que se había propuesto para la duración completa del proyecto. La información obtenida y sistematizada se utilizará para diseñar un plan de manejo con el propósito de controlar, e idealmente erradicar, a las especies de vertebrados exóticos de Cozumel y que permita la recuperación y conservación de las especies de vertebrados nativos de la isla y particularmente de sus endemismos. En este informe presentamos los trabajos y avances logrados durante el proyecto en el trabajo de campo, en la compilación de la información histórica que hemos generado, así como en el análisis genético de los roedores exóticos.

**Palabras clave:** Cozumel, perro, gato, ratón, rata, boa, diagnóstico, programa de manejo.

## Introducción

La introducción de especies y la invasión de áreas por especies exóticas es uno de los tipos de perturbación más dañinos, el cual afecta seriamente la biota y dinámica de los ecosistemas insulares. El manejo de las especies exóticas generalistas, que pueden vivir en una amplia gama de condiciones ambientales puede ser particularmente difícil y es un reto importante para la conservación de las especies insulares nativas.

Aunque casi el 90% de la isla Cozumel presentaba en el año 2000 una cobertura de vegetación nativa (Romero 2004), la situación de conservación de muchas de las especies endémicas de la isla es sumamente precaria (incluidas en la NOM-SEMARNAT-059-2010 y en la Lista Roja de la UICN) y hay especies cerca de la extinción, si no es que ya han desaparecido (Martínez-Morales 1996, 1999, Gutiérrez 2003, Cuarón *et al.* 2004, Fortes 2004, Cuarón 2009, Fuentes-Montemayor *et al.* 2009, Cuarón *et al.* datos no publicados). Esta seria situación ha sido ocasionada en gran parte por las especies exóticas (Martínez-Morales y Cuarón 1999, Cuarón *et al.* 2004, 2009, González 2006, Romero-Nájera *et al.* 2007). La isla cuenta con abundantes poblaciones de perros (*Canis familiaris*) y gatos (*Felis catus*) ferales, de ratas (*Rattus* sp.) y ratones de casa (*Mus musculus*), y de boas (*Boa imperator*) introducidas que afectan de diversas formas a la biota nativa. La situación es crítica y puede ser descrita como una grave contingencia ambiental.

Se requiere urgentemente de un programa integral de control de especies exóticas, que ayude a la recuperación y conservación de la biota nativa de Cozumel. Por la característica insular de Cozumel, la complejidad de enfrentar múltiples especies introducidas que interactúan con las otras especies exóticas y con las nativas, este trabajo se debe enfocar de manera sistémica y debe considerar la evaluación, monitoreo y control de las poblaciones en toda la isla para que pueda ser efectivo. Ello requiere que se obtenga información científica para determinar la mejor estrategia de manejo.

La abundancia y distribución de las especies exóticas seguramente es un proceso dinámico que se puede ver afectado por diversos factores. Por ejemplo, el impacto de los huracanes Emily y Wilma (2005) ocasionó efectos importantes en la biota y ecosistemas de Cozumel (Perdomo 2006, Copa 2007, García 2010, Espindola 2013). Las herramientas de protección de hábitat (áreas naturales protegidas, ordenamiento ecológico) de Cozumel dan cierta certidumbre a la conservación de ecosistemas en la isla (aunque las presiones para modificar la cobertura vegetal en zonas amplias de la isla persisten). Sin embargo, es necesario complementar estas acciones de manejo para la conservación de la excepcional biota de Cozumel con el control, y de ser posible, la erradicación de las especies invasoras exóticas de la isla. También es necesario establecer medidas preventivas sólidas para que éstas especies no puedan repoblar o reinvasir la isla, o las áreas de la isla donde eventualmente se pudiera lograr su erradicación.

El tamaño de la isla Cozumel, sus extensas áreas silvestres y su relativa heterogeneidad ambiental, el gran tamaño de su población humana (más de 86,000 habitantes al 2016), su cercanía al continente, así como el alto flujo permanente de personas, materiales y otros suministros desde el continente, hace del control de las especies exóticas un reto muy importante. Para enfrentarlo es fundamental obtener información robusta, obtenida mediante métodos sistemáticos, objetivos y reconocidos internacionalmente, que permita guiar las decisiones de manejo y orientar esas acciones. Una buena parte de la información la ha ido generando nuestro grupo de investigación, pero hacía falta actualizarla (nuestro programa de monitoreo tuvo que ser suspendido o minimizado hace unos años por falta de

financiamiento), y fue necesario compilar y sistematizar parte de la información que fue generada en el pasado por distintos individuos o subgrupos de trabajo, especialmente cuando ésta información sobre especies exóticas se obtuvo en el contexto de proyectos enfocados a otras especies.

En este informe presentamos los trabajos y avances logrados durante el desarrollo del proyecto.

## Objetivo general

Realizar un diagnóstico del estado de las invasiones biológicas de vertebrados exóticos (perros y gatos ferales, ratas y ratones de casa, y boa) en la isla Cozumel, para fundamentar un programa de manejo con el propósito de controlarlas, prevenir reinvasiones o repoblamiento de áreas, y favorecer la recuperación y conservación de las especies de vertebrados nativos de la isla.

## Objetivos particulares

1. Obtener información sobre la distribución y abundancia de los vertebrados exóticos en la isla Cozumel, que permita obtener un diagnóstico actualizado del estado de las invasiones biológicas de dichos vertebrados exóticos en la isla.
2. Recopilar y sistematizar los registros históricos de vertebrados exóticos (perros y gatos ferales, ratas y ratones de casa y boa) recabados por nuestro grupo de trabajo en la isla Cozumel.
3. Determinar la diversidad y estructura genética de las especies de roedores exóticos (*Mus musculus* y *Rattus* sp) utilizando marcadores moleculares nucleares (microsatélites).
4. Con base en la información obtenida y recopilada, hacer un programa de manejo para llevar a cabo acciones de control y erradicación de las especies exóticas, y prevenir posibles reinvasiones.

## Métodos

### Descripción del área de estudio

La isla Cozumel (c. 478 km<sup>2</sup>) es el mayor territorio insular oceánico con una población humana significativa de México. Tiene un nivel excepcional de endemismo, con cerca de 40 taxa endémicos a la isla (Cuarón 2009). Es considerada una región prioritaria para la conservación y un AICA, además de ser uno de los Sitios de la Alianza para una Extinción Cero (AZE, por sus siglas en inglés). Ha sido identificada como una de las más altas prioridades para la conservación del territorio insular mexicano (Comité Asesor Nacional sobre el Territorio Insular Mexicano 2012).

Cozumel tiene un avanzado sistema de ordenamiento y gestión territorial con diversos instrumentos, que por lo menos incluyen al Programa de Ordenamiento Ecológico Local (POEL), dos áreas naturales protegidas federales, tres áreas naturales protegidas estatales (bajo dos administraciones diferentes), y un Programa de Desarrollo Urbano. Además, la isla entera y el mar circundante inmediato han sido reconocidos recientemente como una Reserva de la Biosfera del Programa Hombre y Biosfera de UNESCO.

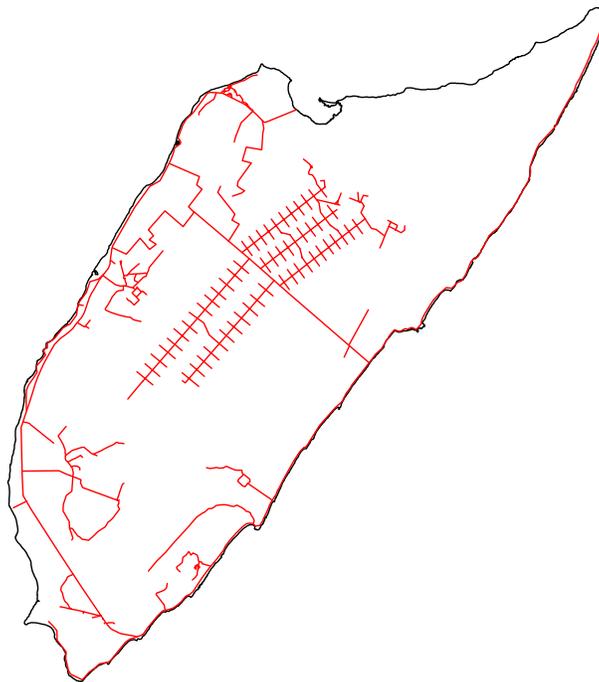
Cuarón (2009) presenta un resumen sobre las características biológicas, sociales, económicas e históricas de Cozumel. A pesar de que alrededor del 90% de la isla mantiene vegetación nativa en buen estado de conservación (salvo los daños naturales inducidos por los huracanes de 2005; Romero-Nájera *et al.* 2007), las poblaciones de muchos de los vertebrados nativos, y sobretodo los endémicos a la isla, se encuentran terriblemente depauperadas a tal grado que varias de ellas se encuentran en crítico peligro de extinción o probablemente se encuentren extintas ya (Gutiérrez Granados 2003, Fortes 2004, Cuarón 2009, Fuentes-Montemayor *et al.* 2009, Espindola 2013, Espindola *et al.* 2014). Evidencias recopiladas desde 1994 apuntan fuertemente a que esa situación se debe, en buena medida, a las especies de vertebrados exóticas, particularmente la boa, los perros y gatos ferales y las ratas y ratones (*e. g.*, Cuarón 2009, Cuarón *et al.* 2004, 2009).

Para este trabajo se realizaron muestreos a lo largo y ancho de la isla, en sitios representativos de la heterogeneidad ambiental de Cozumel, abarcando los distintos tipos de vegetación existentes.

### Distribución y abundancia de vertebrados exóticos

Para determinar la abundancia y distribución de los vertebrados exóticos en la isla Cozumel, continuamos usando los métodos y los protocolos de muestreo que hemos venido utilizando en la isla, en algunos casos, desde 1994 (*e. g.*, Martínez-Morales 1996, Martínez-Morales y Cuarón 1999, Gutiérrez 2003, Fortes 2004, González 2006, Bautista 2006, Torres 2006, Copa 2007, Mena 2007, Romero-Nájera *et al.* 2007, Fuentes-Montemayor *et al.* 2009, Sotomayor 2009). En este proyecto, específicamente utilizamos trayectos en línea en recorridos en automóvil, bicicleta y a pie (perros, gatos, boa), y trampeo con trampas de caja tipo Sherman (ratas y ratones), y trampas de caja tipo Tomahawk y Havahart (gatos y perros ferales). Adicionalmente, utilizamos fototrampeo, que es una técnica que no habíamos utilizado antes en Cozumel.

Durante este proyecto, y en fases previas de nuestro trabajo en Cozumel, hemos realizado recorridos en automóvil, bicicleta y a pie por las vialidades de la isla (Figura 1) para estimar la abundancia y distribución de perros, gatos, boas y otras especies. Los recorridos se hacen a velocidad constante (automóvil: 40 km/h; bicicleta: 10 km/h; a pie: 2 km/ha). Los tipos de caminos incluyeron carreteras, terracerías y veredas, y los recorrimos mediante vehículo, bicicleta y a pie. Cada vez que se observó un espécimen o un grupo de especímenes se registró la ubicación (coordenadas UTM), el tipo de vegetación, y otra información relacionada como el tamaño y composición del grupo. Calculamos un índice de abundancia apropiado para el método utilizado considerando el número de registros y el esfuerzo de muestreo realizado (por ejemplo, número de eventos de detección por 100 km recorridos). Representamos gráficamente los resultados de distribución y abundancia.



**Figura 1.** Rutas recorridas (en rojo) en la Isla Cozumel para estimar la distribución y abundancia de los vertebrados exóticos presentes en la isla.

El registro de la presencia de perros y gatos en la isla desde 2004 deriva del recorrido sistemático sobre senderos, del uso de camas de arena para detectar huellas y del foto-trampeo. Asimismo, se incluyen registros de observaciones incidentales. La abundancia de perros estimada en 2004 y 2006 deriva del uso de camas de arena (“huelleros”). En 2004, se muestrearon 16 localidades de enero a mayo con un esfuerzo de muestreo de 1,020 trampas-noche en el periodo enero-abril y 120 trampas noche en mayo. En 2006, se muestrearon 19 localidades de abril a julio con un esfuerzo de muestreo de 510 trampas-noche. Las abundancias relativas calculadas se normalizaron a número de rastros en 100 trampas-noche.

Estimamos la presencia de perros y gatos ferales y de boas en distintos sitios de Cozumel mediante el uso de trampas-cámara, una de las herramientas principales para el estudio de algunos grupos de

animales como los carnívoros. En el periodo 2013-2014, se colocaron trampas-cámara en 9 sitios con un esfuerzo de muestreo total de 3,279 trampas-día. En octubre de 2015, se muestrearon 10 sitios con un esfuerzo de muestreo total de 1,137 trampas-día. De febrero a agosto de 2016, se muestrearon 63 sitios con un esfuerzo de muestreo total de 7,558 trampas-día. Con ello, el esfuerzo total de muestreo fue de 11,974 trampas-día. Las abundancias relativas calculadas se normalizaron a número de registros en 100 trampas-día.

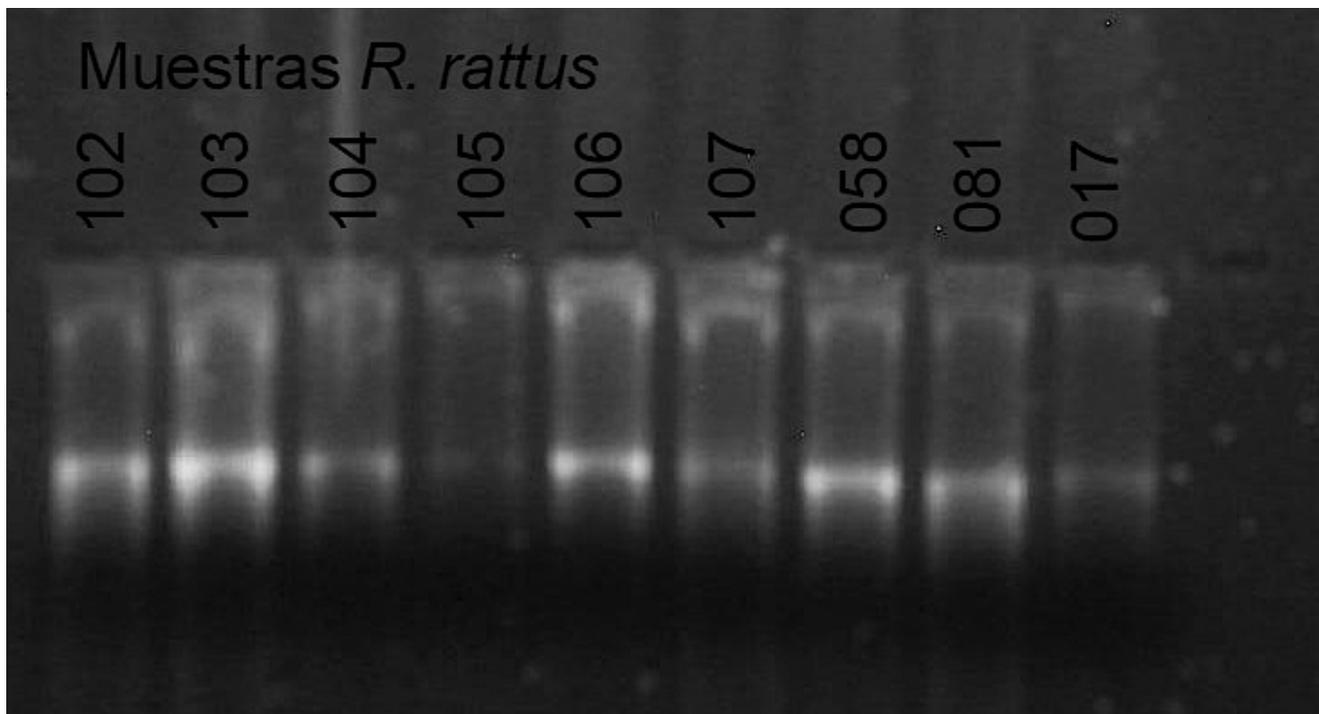
Para evaluar la abundancia y distribución de ratas y ratones exóticos, en esta fase el trabajo de muestreo se realizó mediante trampeo de remoción utilizando principalmente trampas Sherman; se usaron también algunas ratoneras de jaula. El muestreo realizado en 37 sitios fue dirigido a zonas con impacto antropogénico dadas las características de estas especies de ser comensales del hombre. Estudios previos además apuntan a que en isla Cozumel efectivamente presentan este tipo de patrón de distribución (Sotomayor, 2009). Al ser dirigido a zonas antropogenizadas, el muestreo requirió de la obtención del permiso de los pobladores para colocar trampas en sus propiedades, negocios, así como de las autoridades de la isla cuando se trabajó en sitios como en muelles, parques, y de privados para realizar muestreo en hoteles y negocios. El número de trampas por punto de muestreo dependió de las dimensiones de cada sitio y se colocaron de manera aleatoria, favoreciendo aquellos puntos con alta probabilidad de captura. Las trampas permanecieron activas por tres noches, con lo que se tuvo un esfuerzo de muestreo total de 3,791 trampas-noche. Las trampas Sherman fueron cebadas con avena, crema de cacahuete y extracto de vainilla, mientras que las ratoneras de jaula fueron cebadas con tortilla y/o chicharrón. Las trampas fueron revisadas diariamente y recebadas con cebo fresco, así como remplazadas en caso de tener captura, para mantener el esfuerzo de muestreo por sitio. La estimación de la abundancia relativa de los roedores fue normalizada a número de capturas en 100 trampas-noche.

### **Diversidad y estructura genética de los roedores exóticos**

Obtuvimos tejidos de *Mus musculus* y *Rattus rattus* para determinar la diversidad y estructura genética de estas especies de roedores exóticos, utilizando marcadores moleculares nucleares (microsatélites). Se realizó el procesamiento de las muestras en el laboratorio siguiendo procedimientos estándar. Se realizaron las extracciones de ADN de muestras de *Rattus rattus* y *Mus musculus* con el kit Quiagen Tissue & Blood DNA (Figura 2). Posteriormente se amplificaron los loci de microsatélites con primers específicos y se realizaron los análisis de genética de poblaciones.

### **Recopilación y sistematización de registros históricos**

Recopilamos los registros de especies exóticas que hemos recabado en isla Cozumel desde 1994. Con ello, sistematizamos la información y construimos una base de datos en una hoja de cálculo compatible con la última versión del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de la CONABIO. Asimismo, en esta base de datos incluimos todos aquellos registros recabados del trabajo de campo derivado del desarrollo de este proyecto.



**Figura 2.** Ejemplo de extracción de ADN de 9 muestras de *Rattus rattus*.

## Resultados

### Características de los datos obtenidos con el trabajo de campo

Con el trabajo de campo desarrollado realizamos 230 registros de las cinco especies de vertebrados exóticos a Cozumel, objeto de este estudio (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Especies y número de registros que se obtuvieron durante el trabajo de campo, así como de la recopilación histórica compilada durante este estudio.

<b>Especie</b>	<b>Datos de campo</b>	<b>Recopilación histórica</b>	<b>Total</b>
<i>Canis familiaris</i>	122	729	851
<i>Felis catus</i>	0	33	33
<i>Mus musculus</i>	59	115	174
<i>Rattus rattus</i>	48	25	73
<i>Boa constrictor</i>	1	56	57
<b>Total</b>	<b>230</b>	<b>958</b>	<b>1188</b>

Usando diversos métodos, logramos un total de 122 registros individuales de perros (Cuadro 1). Algunos de estos animales se registraron en un total de 6 recorridos en automóvil para registrar animales que cruzaran o que hubieran sido atropellados en las carreteras Transversal y Costera que circundan la mitad suroeste de la isla. En esos muestreos acumulamos un total de 85.6 km de recorrido y logramos el registro de 21 individuos de perros ferales o de libre rango; esto equivale a 24.5 perros/100 km recorridos. Adicionalmente, en recorridos hacia sitios de trabajo y durante trabajo de campo en la isla, logramos un total de 34 registros de perros (31 observaciones de individuos, un registro basado en huellas y dos basados en excretas).

En contraste con fases anteriores de nuestro trabajo en Cozumel, fue notorio el muy bajo éxito para registrar gatos y boas durante la fase de trabajo de campo de este proyecto (Cuadro 1).

Recolectamos un total de 107 organismos de roedores exóticos: 59 *Mus musculus* y 48 *Rattus rattus*. Esto equivale a 12.2 individuos/100 trampas (6.7 individuos/100 trampas de *Mus musculus* y 5.5 individuos/100 trampas de *Rattus rattus*). En el Cuadro 2 se muestran los 37 puntos de muestreo, incluyendo aquellos donde no hubo capturas y el número de trampas abiertas en cada sitio. Es importante recalcar que por el bajo éxito de captura inicial, dos sitios fueron muestreados por 6 noches (Baasha y relleno sanitario). Dos sitios de muestreo, Punta Sur e Isla de la Pasión, son localidades que presentan vegetación silvestre en combinación con sitios alterados; en éstos, la presencia de mapaches pigmeos (*Procyon pygmaeus*) no permitieron dejar las trampas más de 2 noches. Los ejemplares señalados que provienen de “casa de Doña Dina” fueron donados por los dueños, por lo que no se colocaron trampas en dicho lugar.

**Cuadro 2.** Sitios de muestreo (37), número de trampas colocadas y especímenes capturados de roedores exóticos a Cozumel. NC=Ningún ejemplar colectado; M=*Mus musculus*; R=*Rattus rattus*; X= ejemplares obtenidos de donaciones.

Localidad	Número de trampas	Organismos capturados
10 de abril (Doña Gloria)	5	M
10 de abril (Doña Sabrina)	5	R
10 de abril (Noel)	10	NC
10 de abril (panadería)	2	NC
Av. 65	X	R
CAMAR	5	R
Casa 5 sur	5	NC
CBTIS #28	12	NC
Centro (Doña Mirsa)	5	M,R
Centro(Doña Dina)	X	R
Club náutico Puerto Abrigo	22	NC
Colonos Cuzamil (Doña Carolina)	5	R
CONANP	3	R
Doña Amira (Panteón)	9	NC
El Cedral 2	5	R
El Cedral1 (Don Antonio)	5	R
Emiliano Zapata (Alex)	5	M
Fundación de parques y museos	20	NC
Independencia (Doña Tatiana)	5	R
Isla de la Pasión	3	NC
La cabaña del Pescador	10	NC
Mercado municipal	13	R
Muelle fiscal	20	NC
Punta Sur 1	5	NC
Punta Sur 2	3	NC
Punta Sur 3	3	NC
Punta Sur 4	3	NC
Rancho Chichihualco	20	NC
Rancho Los Gatos Km 11	5	R
Rastro	12	R
Recicladora Baasha	5	R
Relleno sanitario	30	R,M
San Gervasio (Doña Bety)	5	NC
San Gervasio (Doña Ana)	3	R
San Miguel (Doña Anibar)	5	M
San Miguel (Doña Anibar 2)	X	R
San Miguel I (Doña Lupita)	5	M
Taller de carros alegóricos	5	NC
Tapicería Av. 65	5	NC
Trabajadores Baasha	5	NC

## **Recopilación y sistematización de registros históricos**

Compilamos 958 registros históricos de las cinco especies de vertebrados exóticos de Cozumel producto de nuestro trabajo previo en la isla (Cuadro 1). Estos se distribuyen por toda la isla. Al momento de concluir este proyecto, recopilamos 729 registros históricos georeferenciados de perros ferales, 33 de gatos ferales, 115 de ratones, 25 de ratas y 56 de boas (Cuadro 1). La información disponible para cada registro se encuentra en la base de datos entregada a CONABIO.

## **DIAGNOSTICO DE LAS POBLACIONES DE VERTEBRADOS EXOTICOS**

### **Distribución y abundancia de los vertebrados exóticos en Cozumel**

A continuación se presentan los resultados sobre la distribución y abundancia de los vertebrados exóticos de Cozumel.

Los perros (incluyendo ferales y “de rancho”) son prácticamente omnipresentes y abundantes en la isla (Figura 3). Este patrón fue consistente en los ocho años para los cuales obtuvimos datos. Con base en los datos generados del foto-trampeo de 2013 a 2016 estimamos una abundancia de 5.81 fotos/100 trampas-día. Encontramos que los sitios con mayores abundancias son la zona este del aeropuerto, el relleno sanitario de la isla y la zona de El Cedral (Figura 4). Si bien se registraron perros en áreas urbanas y zonas cercanas a asentamientos humanos, se documentó también la presencia de perros en muchas áreas silvestres alejadas de los sitios de habitación humana. Registramos perros tanto en las áreas selváticas como en las zonas costeras de la isla.

Hemos generado datos sistemáticos de presencia y abundancia de perros en la isla desde 2004; sin embargo, debido a las diferencias metodológicas y de esfuerzo de muestreo por ahora no es posible estimar fluctuaciones en sus abundancias. No obstante, derivado de nuestras observaciones, detectamos que en 2005 los perros comenzaron a ocupar las selvas de la isla, probablemente vinculado con el cambio en el manejo de los desechos de la isla al pasar de un tiradero a cielo abierto a un relleno sanitario.

Aunque los gatos también tienen una distribución amplia en la isla, está es menos extendida que la de los perros tanto espacial como temporalmente (Figura 5). Hemos documentado de manera sistemática la presencia de gatos ferales en la isla desde 2004 con registros hasta 2014. Registramos gatos tanto en las áreas selváticas como en las zonas costeras de la isla. Dados los escasos registros y las diferencias metodológicas para su detección, no es posible por ahora hacer una estimación de su abundancia. Sin embargo, cabe destacar que en 2015 y 2016 no obtuvimos registros de la especie mediante el foto-trampeo.

Los ratones están concentrados en las zonas urbanas de Cozumel (San Miguel y El Cedral), donde también tienen los mayores focos de abundancia (Figura 6). También se registraron en otros sitios con influencia antrópica como son el relleno sanitario y algunos asentamientos aislados. A diferencia de las ratas, los ratones se registraron en la mayoría de los restaurantes costeros de la zona oriental de la isla.

La diferencia en la distribución espacial de los ratones entre los años 2007 y 2015 obedece a diferencias en el número de sitios de muestreo, y no a una contracción en su distribución en la isla. De hecho, los sitios en donde ocurren en 2015 coinciden con los de 2007, por lo que se puede suponer que, al menos su distribución no se ha contraído. Por otra parte, tampoco obtuvimos evidencia de que su distribución se haya expandido en este periodo, ya que en 2015 no se detectó esta especie en sitios adicionales que fueron muestreadas (El Cedral y el rastro de San Miguel) . En los años recientes las mayores abundancias de esta especie se presentaron en la ciudad de San Miguel (Figura 7).

Las ratas, de manera semejante a los ratones, tienen una distribución amplia en las zonas urbanas de la isla (San Miguel y El Cedral) y en otros sitios con influencia antrópica como son el relleno sanitario y algunos asentamientos aislados (Figura 8); asimismo, se registraron en uno de los restaurantes costeros. No obtuvimos registro alguno de ratas en las áreas silvestres de la isla, ni en selvas ni zonas costeras.

Es probable que las ratas no hayan incrementado su distribución espacial en la isla durante el periodo 2007 a 2015. Sin embargo, en 2015, encontramos que la rata ya estaba presente también en el relleno sanitario de la isla, en la costa oriental. Asimismo, la adición de sitios de muestreo en 2015 evidenció su presencia en El Cedral y en el rastro de la ciudad de San Miguel. Su presencia se concentra principalmente en la ciudad de San Miguel y en algunos sitios a lo largo de la carretera transversal. En 2015, las mayores abundancias de rata en la isla se localizaron en la ciudad de San Miguel y en El Cedral (Figura 9).

Desde que comenzamos a documentar la presencia en Cozumel de la boa en 1994 (Martínez-Morales y Cuarón 1999), la especie tenía una distribución amplia en la isla (incluyendo zonas urbanas y las áreas silvestres de la isla) y era relativamente frecuente encontrar individuos. Los registros históricos así lo indican (Figura 10). En el pasado (2001-2002) registramos  $0.11 \pm 0.03$  ind/10 km de trayectos carreteros recorridos, sin encontrar diferencias significativas entre los tres principales tipos de vegetación en la isla (Romero-Nájera *et al.* 2007). En cambio, sí encontramos diferencias entre las zonas no habitadas de la isla ( $0.15 \pm 0.04$  ind/10 km) y las zonas habitadas ( $0.04 \pm 0.02$  ind/10 km). Sin embargo, a la fecha, se ha detectado una importante reducción en el registro de individuos y una aparente contracción en su distribución. Los últimos registros de la especie derivados de muestreos sistemáticos fue en 2014; uno en la costa noroccidental y otro al sur de San Miguel.

### Perros: distribución espaciotemporal

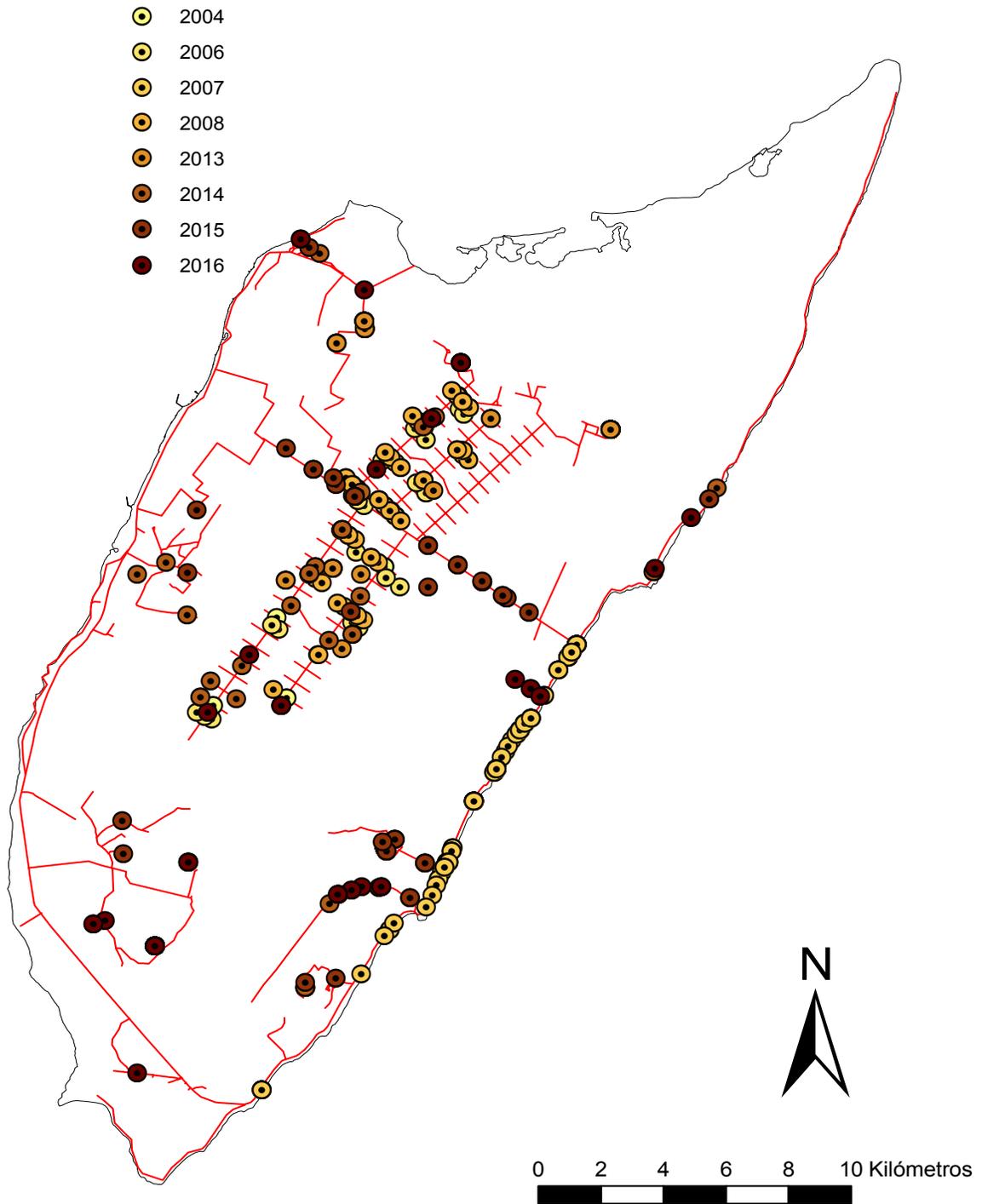


Figura 3. Distribución de perros en isla Cozumel.

### Abundancia relativa de perros

Huelleros 2004, 2006 Foto trampeo 2013-2014 Foto trampeo 2015 Foto trampeo 2016

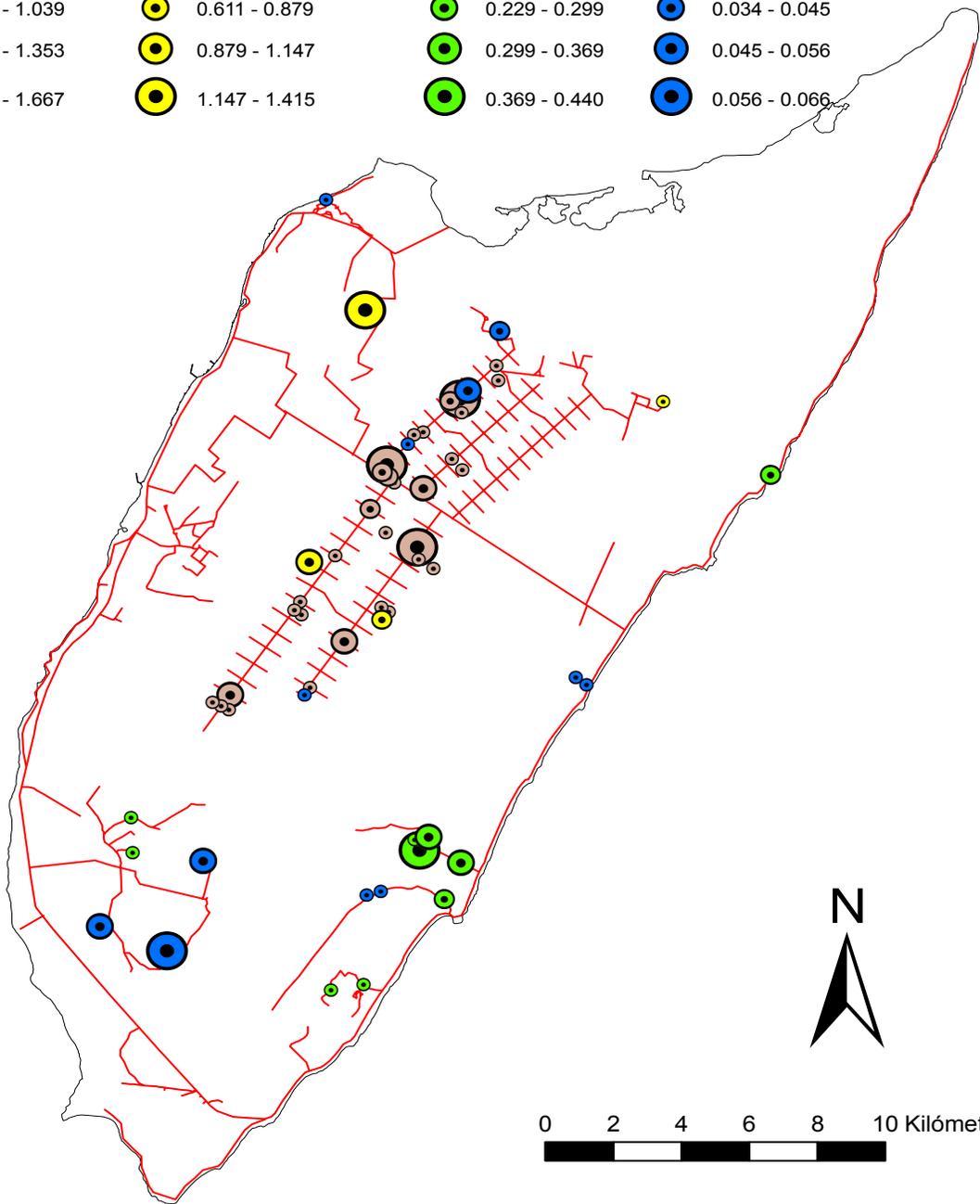


Figura 4. Abundancia de perros en isla Cozumel.

### Gatos: distribución espaciotemporal

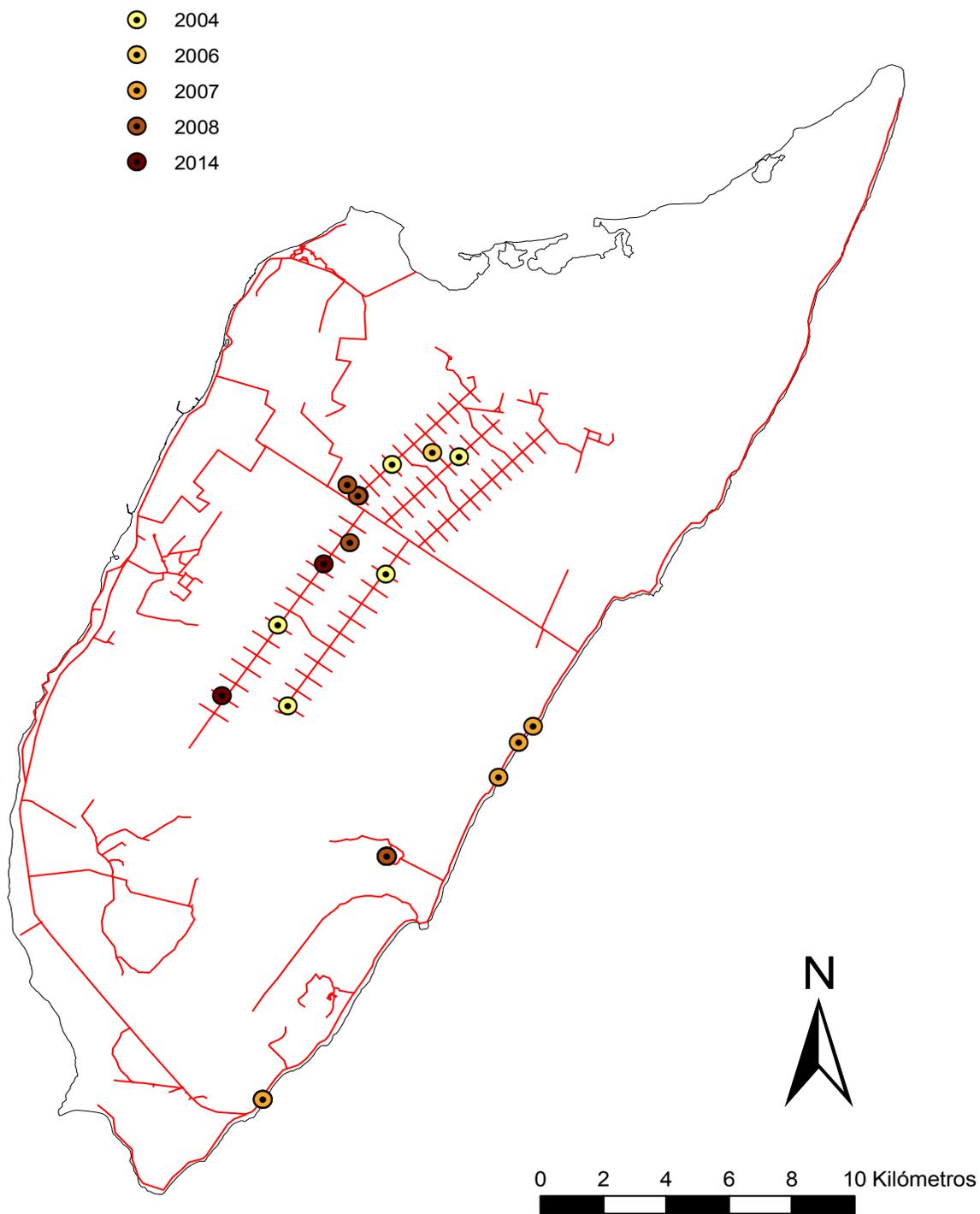
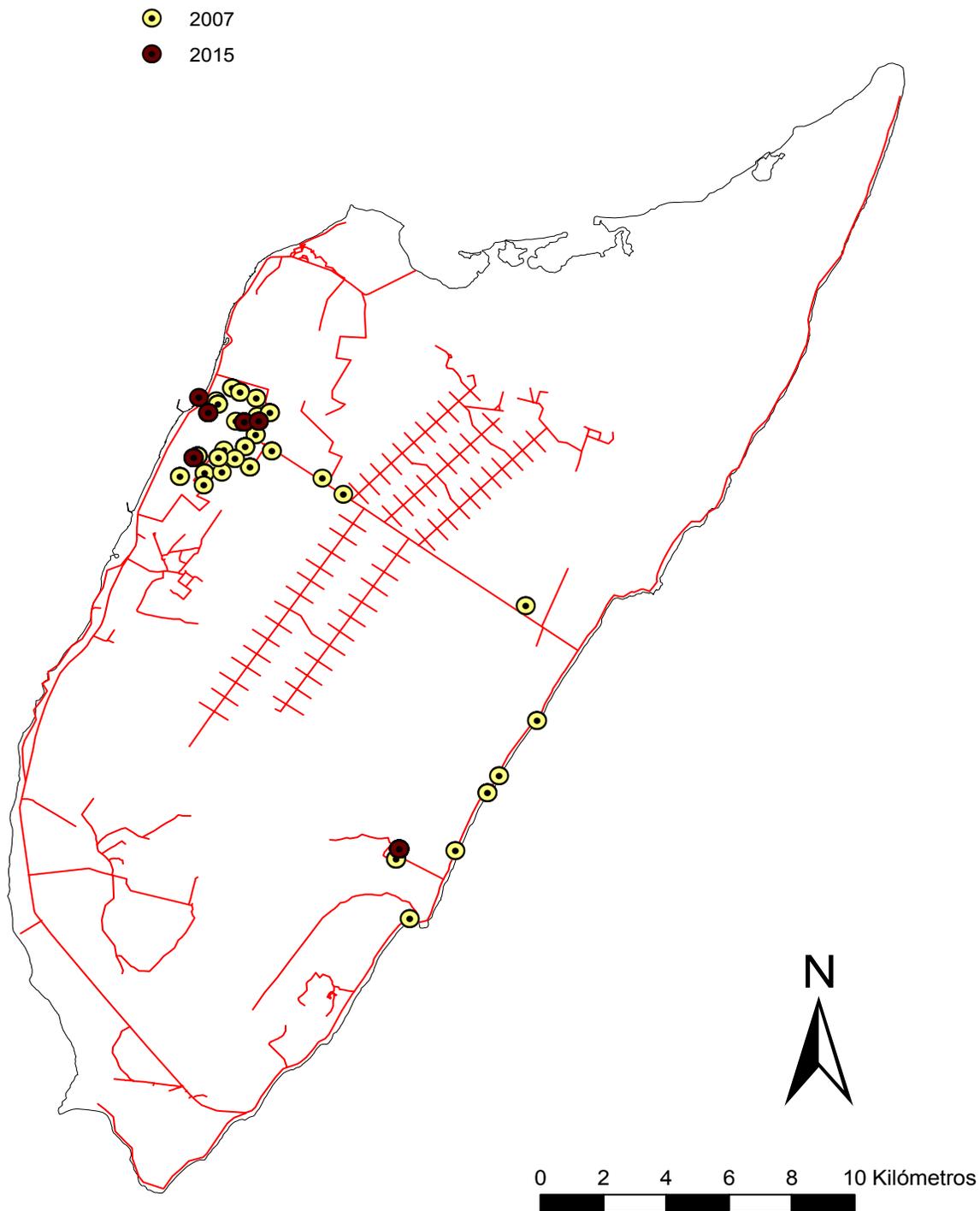


Figura 5. Distribución de gatos en isla Cozumel.

### Ratones: distribución espaciotemporal



**Figura 6.** Distribución de ratones en isla Cozumel.

### Abundancia relativa de ratones 2015

- 3.333 - 19.667
- 19.667 - 36.000
- 36.000 - 52.333
- 52.333 - 68.667
- 68.667 - 85.000

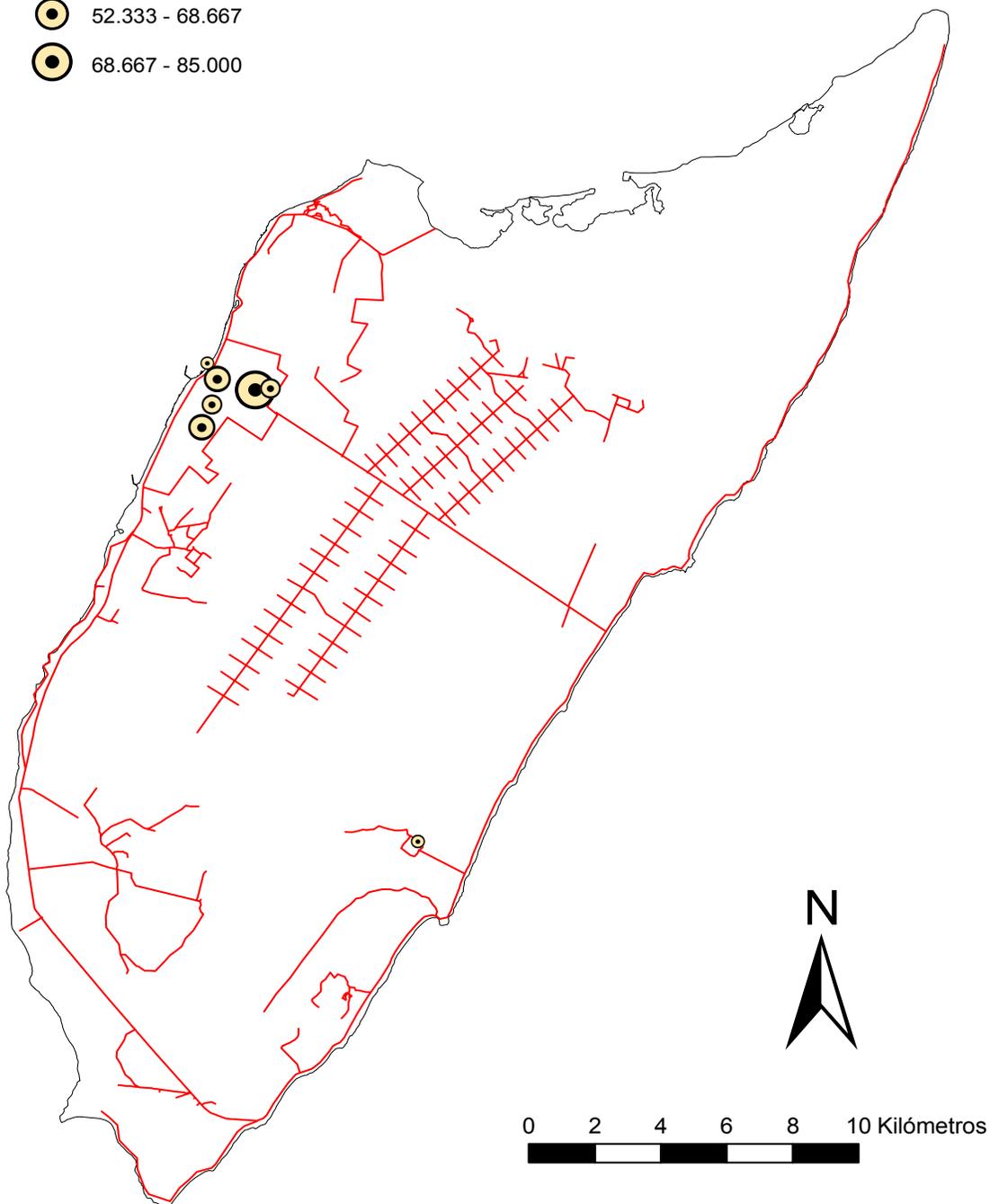
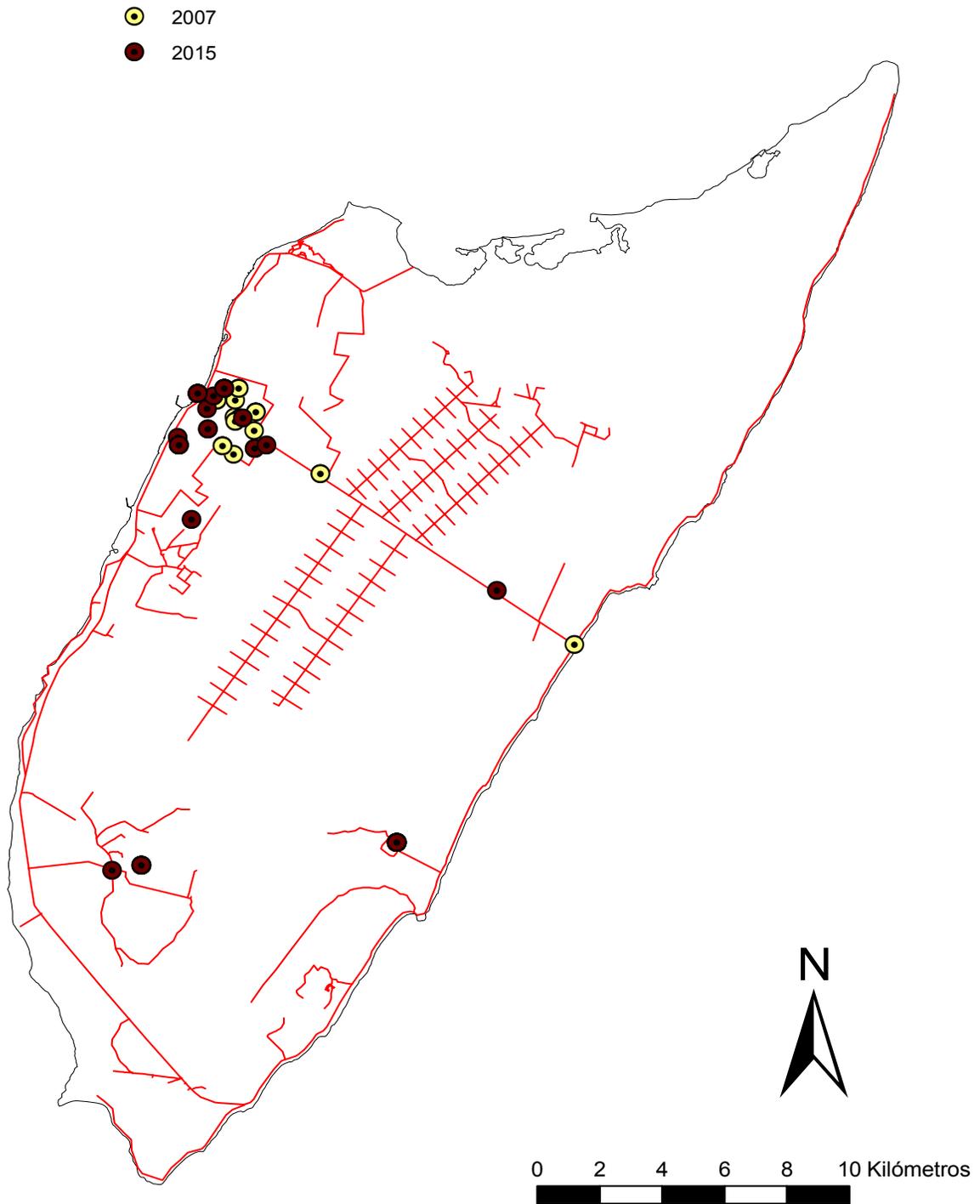


Figura 7. Abundancia de ratones en isla Cozumel.

### Ratas: distribución espaciotemporal



**Figura 8.** Distribución de ratas en isla Cozumel.

### Abundancia relativa de ratas 2015

- 2.778 - 8.889
- 8.889 - 15.000
- 15.000 - 21.111
- 21.111 - 27.222
- 27.222 - 33.333

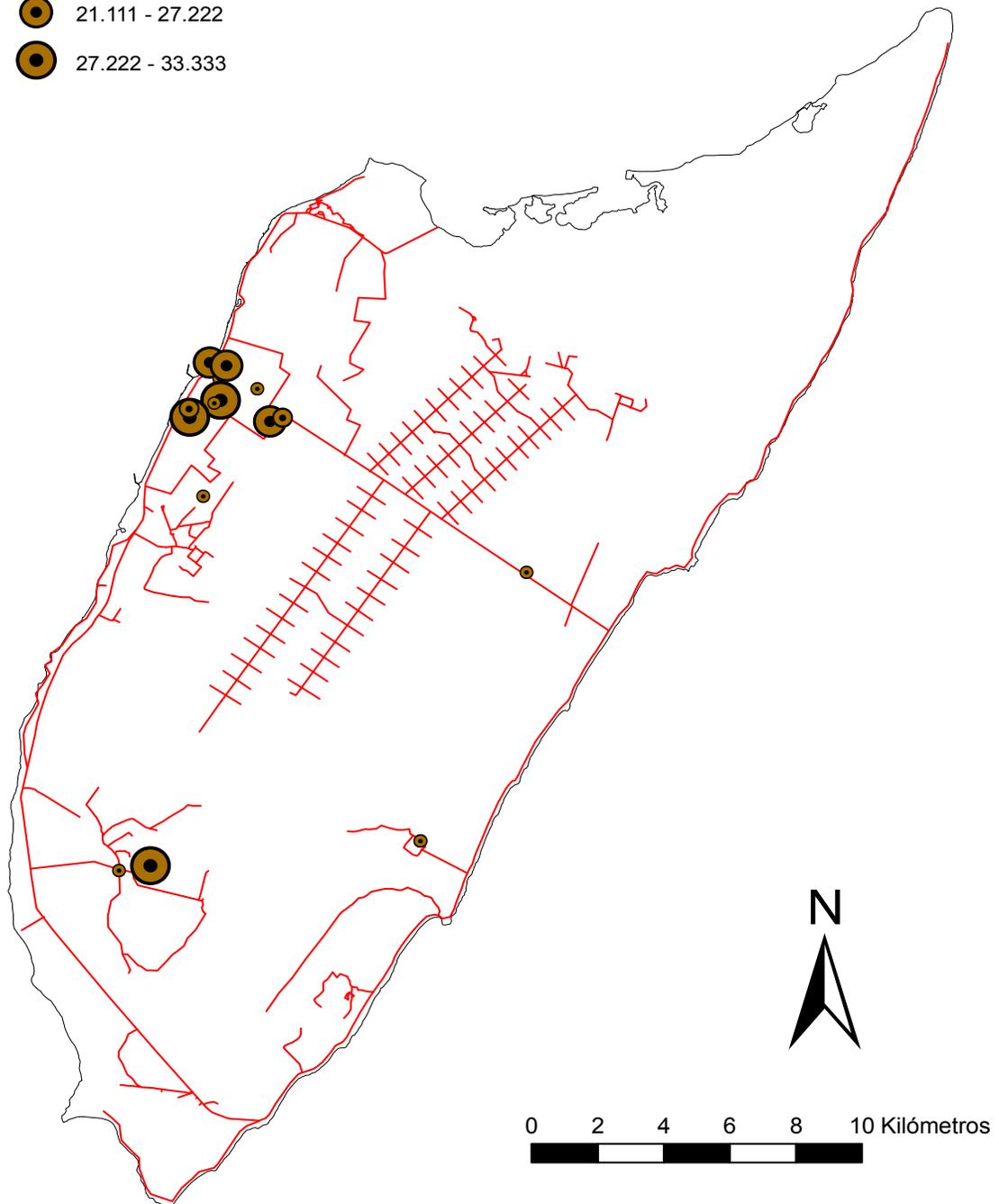


Figura 9. Abundancia de ratas en isla Cozumel.

### Boas: distribución espaciotemporal

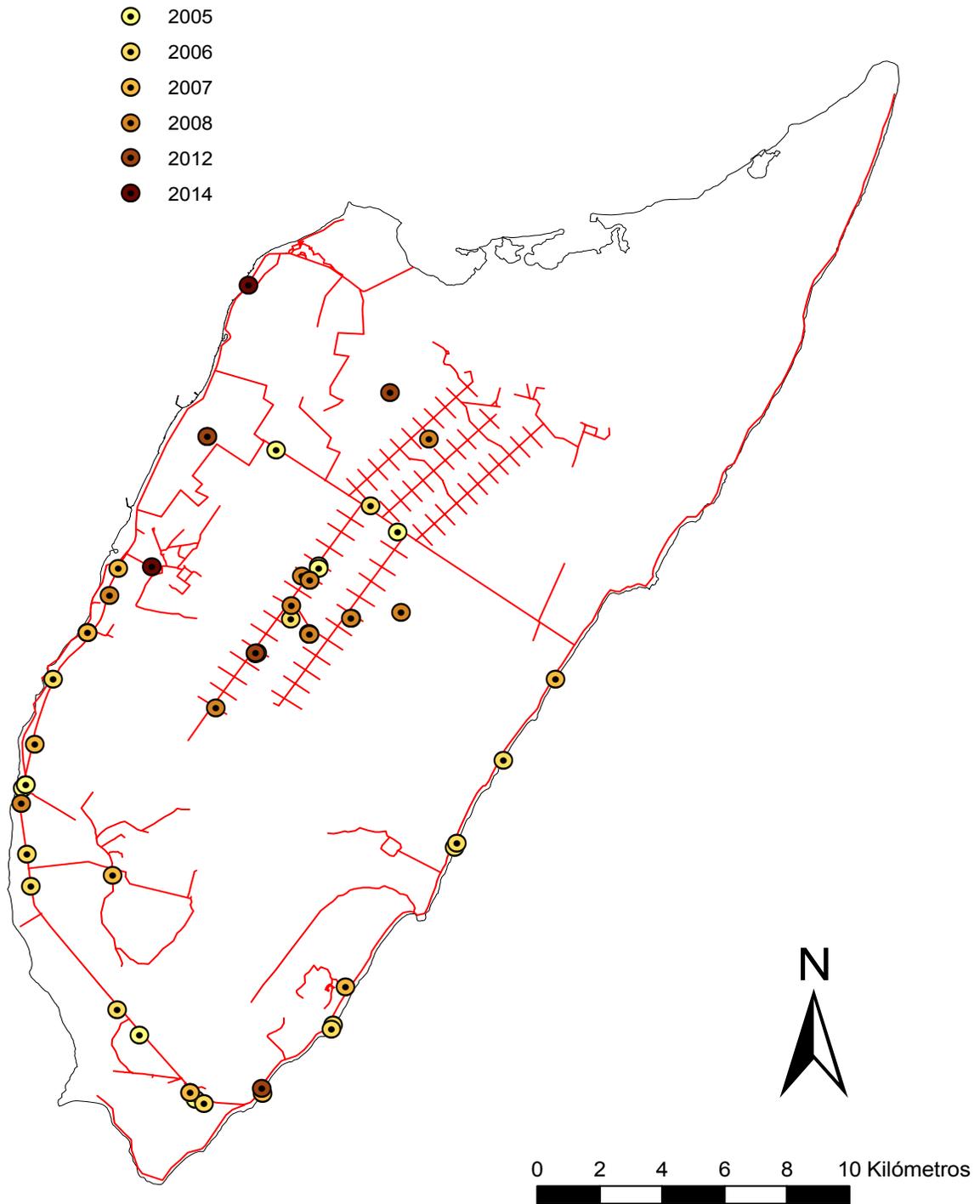


Figura 10. Distribución de boas en Isla Cozumel.

## Diversidad y estructura genética de roedores exóticos

A continuación se describen los resultados obtenidos para *Mus musculus* y *Rattus rattus* con relación a su diversidad y estructura genética.

### *Mus musculus*

Se colectaron un total de 59 individuos en dos zonas con alto impacto antropogénico. La primera zona corresponde a la ciudad de San Miguel con 41 individuos y la segunda al relleno sanitario con 18. No se capturaron individuos de *M. musculus* ni en selva conservada, ni en la frontera entre zona urbana y selva (sitios donde *R. rattus* sí fue capturada).

Se probaron 10 loci de microsatélites (Babiker y Tautz 2015, Hardouin *et al.* 2015), los cuales fueron polimórficos. Dada la relativa menor movilidad de *M. musculus*, se realizó un análisis de agrupación genética (Geneland) para determinar si existía estructura a nivel más fino. Con ello, se determinó que existen tres grupos (o *clusters*) genéticos: SaMi1: el relleno sanitario, SaMi2: limitado al norte por la Avenida Antonio González Fernández y al oeste por la Avenida 65, y SaMi3, conformado únicamente por las capturas en la colonia San Miguel I.

La variación genética se presenta en términos de índices diversidad: número de alelos ( $N_a$ ), número de alelos efectivos ( $N_e$ ), heterocigosidad esperada ( $H_e$ ), heterocigosidad de Nei, que pondera el tamaño de muestra pequeño ( $H_{nei}$ ). La variación genética mostró valores de diversidad total más altos en comparación con *R. rattus* (ver abajo):  $N_a=10.0$ ,  $N_e=4.6$ ,  $H_e=0.768$  y  $H_{nei}=0.775$  (Cuadro 3).

En cuanto a los diagramas de Venn (Figura 11) sobre la distribución de la diversidad en términos de los alelos por locus dentro y entre las poblaciones estudiadas: SaMi1 es el grupo genético con el mayor número que alelos exclusivos (34) y, por el contrario, SaMi3 no presentó alelos exclusivos; los tres grupos genéticos comparten 27 alelos. El análisis molecular de varianza (AMOVA) mostró, igual que para el caso de *R. rattus*, que el mayor porcentaje de la variación se distribuye dentro de los individuos (70%), mientras que otro 13% fue entre poblaciones (Cuadro 4).

La diferenciación entre grupos genéticos mostró un valor global moderado ( $F_{st}=0.179$ ), así como cierta diferenciación entre SaMi3 y los otros dos grupos genéticos (SaMi1 – SaMi2; Cuadro 5). Asimismo, el análisis factorial de correspondencia mostró que los tres grupos genéticos están genéticamente diferenciados, donde SaMi3 es el más alejado (Figura 12). Los resultados del número de migrantes efectivos ( $N_m$ ) mostraron que el menor flujo se da con SaMi3, lo que apoya el hecho de que éste sea el grupo genéticamente más diferenciado; asimismo, igual que en el caso de *R. rattus*, la mayor tasa de migrantes se da desde el relleno sanitario (SaMi1). Finalmente, en cuanto a las relaciones de parentesco entre los individuos, los resultados mostraron el mayor porcentaje para la clasificación de individuos no relacionados (86.7%), seguido de aquella de medios hermanos (9.5%).

**Cuadro 3.** Índices de diversidad genética por locus y en promedio para los grupos genéticos identificados de *Mus musculus* en isla Cozumel, México. Asimismo, se detallan los valores promedio globales (isla Cozumel).

<b>Grupo genético</b>	<b>Locus</b>	<b>N</b>	<b>Na</b>	<b>Ne</b>	<b>Ho</b>	<b>He</b>	<b>H<sub>NEI</sub></b>
SaMi 1	D5Mit149	29	7.000	4.143	0.448	0.759	0.772
	D6Mit309	29	8.000	3.858	0.690	0.741	0.754
	D9Mit54	29	8.000	2.870	0.621	0.726	0.663
	D13Mit61	29	5.000	3.649	0.483	0.771	0.739
	D15Mit98	29	8.000	4.358	0.379	0.562	0.784
	EG22992	29	5.000	2.285	0.536	0.645	0.572
	PP4A02	28	7.000	2.815	0.345	0.848	0.656
	PP7B08	29	13.000	6.570	0.655	0.767	0.863
	PP10A02	29	7.000	4.291	0.856	0.847	0.780
	PP10E08	29	11.000	6.545	0.727	0.774	0.862
	<b>Promedio</b>		<b>28.9</b>	<b>7.9</b>	<b>4.138</b>	<b>0.536</b>	<b>0.732</b>
SaMi 2	D5Mit149	22	7.000	4.420	0.727	0.774	0.792
	D6Mit309	22	8.000	3.293	0.727	0.696	0.712
	D9Mit54	22	6.000	2.997	0.636	0.666	0.682
	D13Mit61	22	8.000	5.762	0.864	0.826	0.846
	D15Mit98	22	8.000	4.102	0.773	0.756	0.774
	EG22992	22	5.000	3.044	0.591	0.671	0.687
	PP4A02	22	5.000	3.205	0.636	0.688	0.704
	PP7B08	22	8.000	4.722	0.227	0.788	0.807
	PP10A02	22	7.000	2.541	0.591	0.606	0.621
	PP10E8	22	4.000	3.044	0.818	0.671	0.687
	<b>Promedio</b>		<b>22.0</b>	<b>6.6</b>	<b>3.713</b>	<b>0.659</b>	<b>0.714</b>
SaMi 3	D5Mit149	6	5.000	3.130	0.500	0.681	0.742
	D6Mit309	7	3.000	2.000	0.714	0.500	0.538
	D9Mit54	7	2.000	1.690	0.571	0.408	0.440
	D13Mit61	7	2.000	1.960	0.571	0.490	0.527
	D15Mit98	7	4.000	1.581	0.286	0.367	0.396
	EG22992	7	2.000	1.153	0.143	0.133	0.143
	PP4A02	7	3.000	2.178	0.143	0.541	0.582
	PP7B08	7	2.000	1.960	0.571	0.490	0.527
	PP10A02	7	4.000	1.849	0.143	0.459	0.495
	PP10E08	7	2.000	1.690	0.571	0.408	0.440
	<b>Promedio</b>		<b>6.900</b>	<b>2.9</b>	<b>1.919</b>	<b>0.421</b>	<b>0.448</b>
Isla Cozumel	D5Mit149	57	9.000	5.045	0.561	0.802	0.809
	D6Mit309	58	10.00	3.960	0.707	0.747	0.754
	D9Mit54	58	9.000	3.757	0.621	0.734	0.740
	D13Mit61	58	8.000	5.105	0.707	0.804	0.811
	D15Mit98	58	12.000	4.500	0.569	0.778	0.785
	EG22992	58	7.000	3.082	0.431	0.676	0.681
	PP4A02	57	9.000	3.530	0.526	0.717	0.723
	PP7B08	58	14.000	7.716	0.328	0.870	0.878
	PP10A02	58	10.000	3.586	0.569	0.721	0.727

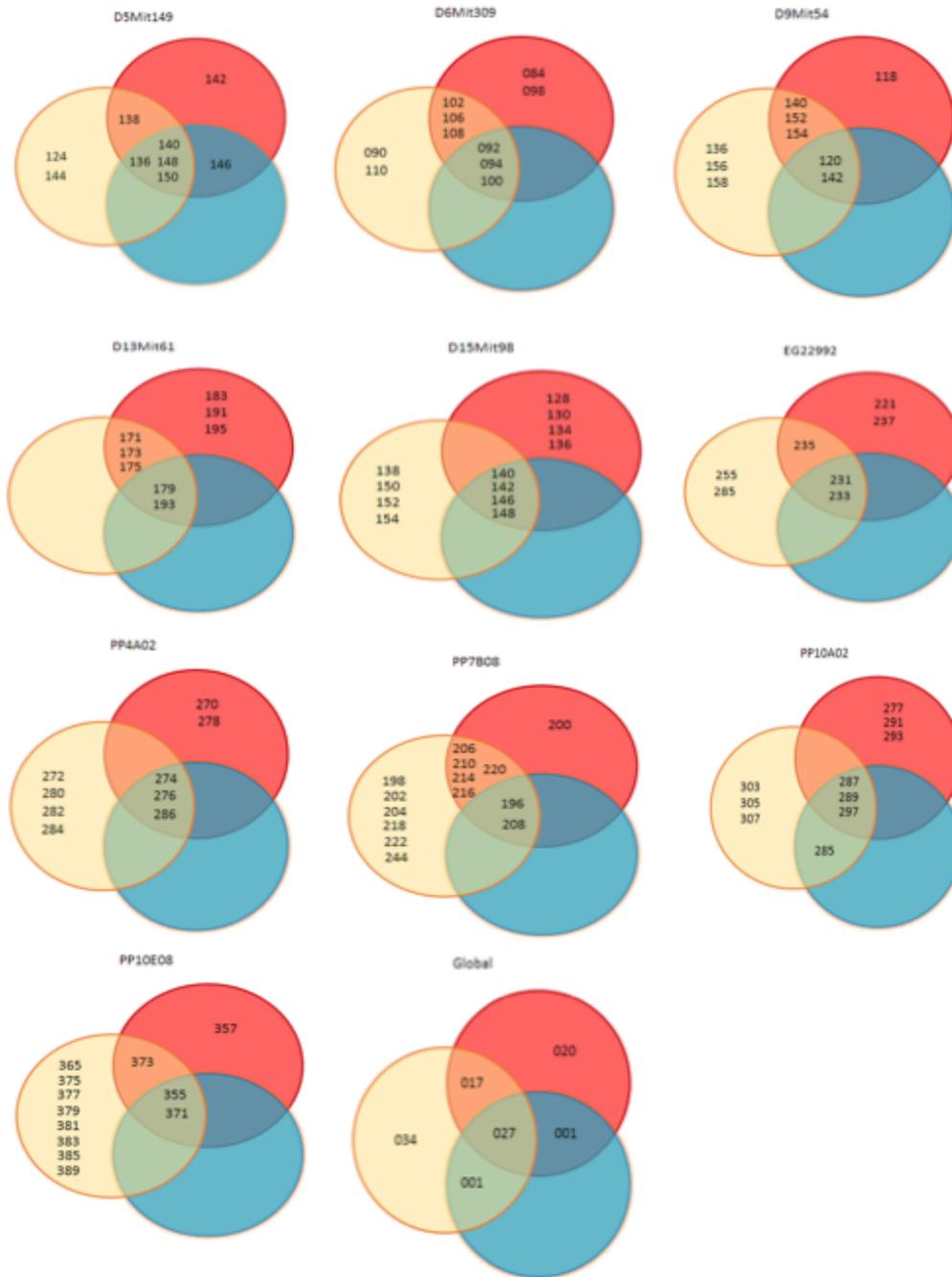
<b>Grupo genético</b>	<b>Locus</b>	<b>N</b>	<b>Na</b>	<b>Ne</b>	<b>Ho</b>	<b>He</b>	<b>H<sub>NEI</sub></b>
	PP10E08	58	12.000	5.933	0.672	0.831	0.839
	<b>Promedio</b>	<b>57.8</b>	<b>10.0</b>	<b>4.621</b>	<b>0.569</b>	<b>0.768</b>	<b>0.775</b>

**Cuadro 4.** Análisis molecular de varianza (AMOVA) para las poblaciones de *Mus musculus* estudiadas en isla Cozumel, México.

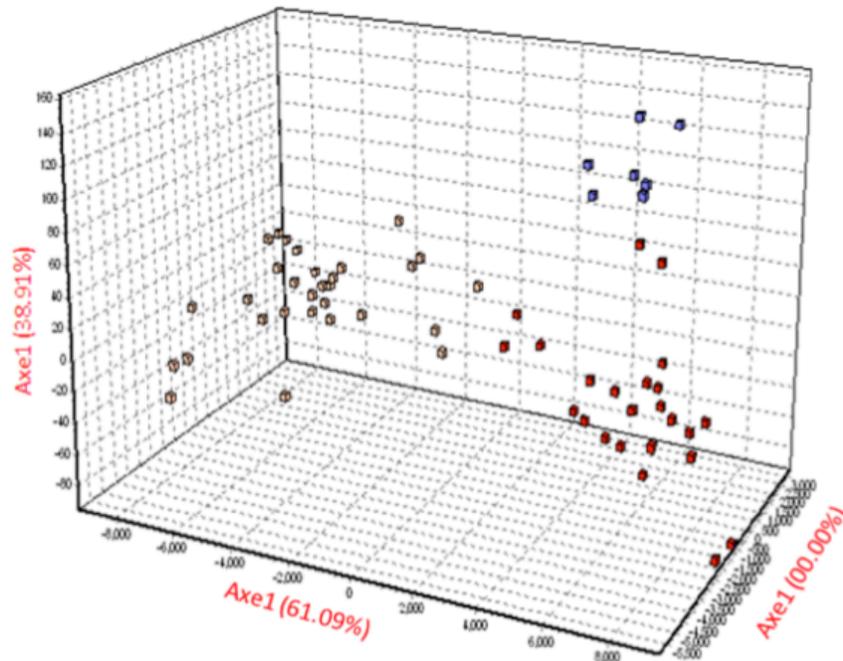
<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Componentes de la varianza</b>	<b>Porcentaje de variación (%)</b>	<b>P</b>
Entre poblaciones	2	44.273	0.52135	12.83	<0.001
Entre individuos entro de las poblaciones	55	233.667	0.70614	17.38	<0.001
Dentro de los individuos	58	164.500	2.83621	<0.001	<0.001
Total	115	442.440	4.06370		

**Cuadro 5.** Valores de diferenciación genética (Fst) entre las poblaciones de *Mus musculus* estudiadas en isla Cozumel, México.

<b>Población</b>	<b>Fst</b>
SaMi1 - SaMi2	0.094
SaMi1 - SaMi3	0.203
SaMi2 - SaMi3	0.184



**Figura 11.** Diagramas de Venn de muestra los alelos exclusivos y los compartidos entre la poblaciones estudiadas, en cada grupo genético por locus y considerando todos los loci en conjunto (global). Grupos genéticos: SaMi1 (amarillo), SaMi2 (rojo), SaMi3 (azul).



**Figura 12.** Análisis factorial de correspondencia; se muestran los grupos genéticos en amarillo SaMi1, rojo SaMi2 y azul SaMi3.

### *Rattus rattus*

Se probaron 10 loci de microsatélites (Louise *et al.* 2008, Abdelkrim *et al.* 2010) de los cuales uno fue monomórfico (es decir, sin variación), por lo que los análisis se realizaron con nueve loci. Se trabajó un total de 48 individuos distribuidos en cuatro poblaciones, dos en zona urbana (San Miguel, 28 individuos; relleno sanitario, 9 individuos), una en la frontera entre la zona urbana y la selva (Colonos Cuzamil, 6 individuos) y otra en selva (El Cedral, 5 individuos).

Los resultados muestran valores de diversidad relativamente altos para la isla en total:  $N_a=6.6$ ,  $N_e=3.4$ ,  $H_e=0.595$  y  $H_{nei}=0.601$  (Cuadro 6).

La distribución de la diversidad basada en alelos por locus dentro y entre las poblaciones estudiadas se muestra en diagramas de Venn (Figura 13). San Miguel es la población con el mayor número de alelos exclusivos, mientras que sólo nueve alelos son compartidos entre todas las poblaciones. También se realizó un análisis molecular de varianza (AMOVA), que muestra cómo se distribuye el porcentaje de la variación en las poblaciones, cuyo valor más alto fue dentro de los individuos (67%), mientras que otro 15% fue entre poblaciones (Cuadro 7).

La diferenciación entre poblaciones se midió con el índice  $F_{st}$  que mostró un valor indicativo de diferenciación genética global ( $F_{st}=0.154$ ), así como diferenciación de cierto grado entre todos los pares de poblaciones (Cuadro 8). Un análisis factorial de correspondencia, basado en los genotipos, mostró que las cuatro poblaciones están genéticamente diferenciadas, donde Colonos Cuzamil es la más alejada, lo cual puede estar asociado al tamaño de muestra pequeño (Figura 14). Se estimó el número de migrantes efectivos ( $N_m$  a partir de  $F_{st}$ ) y los resultados muestran una tasa de migración  $>2$  entre las poblaciones del relleno sanitario y El Cedral, y entre el relleno sanitario y San Miguel. Se

estimaron las relaciones de parentesco entre los individuos y los resultados mostraron el mayor porcentaje de individuos no relacionados (83.4%), seguido de aquella de medios hermanos (11.7%).

**Cuadro 6.** Índices de diversidad genética por locus y en promedio para las poblaciones de *Rattus rattus* estudiadas en isla Cozumel, México. Asimismo, se detallan los valores considerando a todas las poblaciones juntas (isla Cozumel).

Población	Locus	N	Na	Ne	Ho	He	H <sub>NEI</sub>
<b>San Miguel</b>	R 14	28	8.000	3.834	0.321	0.739	0.753
	R17	28	7.000	4.115	0.607	0.757	0.771
	R21	28	6.000	4.737	0.750	0.789	0.803
	R22	28	4.000	1.590	0.286	0.371	0.378
	R67	28	3.000	2.323	0.536	0.570	0.580
	R68	28	3.000	1.612	0.321	0.379	0.386
	R107	28	14.000	6.506	0.750	0.846	0.862
	R114	28	6.000	2.246	0.536	0.555	0.565
	D16Rat81	28	2.000	1.280	0.250	0.219	0.223
	<b>Promedio</b>		<b>28</b>	<b>5.889</b>	<b>3.138</b>	<b>0.484</b>	<b>0.581</b>
<b>Relleno sanitario</b>	R 14	9	4.000	3.000	0.333	0.667	0.706
	R17	9	5.000	3.375	0.889	0.704	0.745
	R21	9	3.000	2.418	0.556	0.586	0.621
	R22	9	2.000	1.670	0.556	0.401	0.425
	R67	9	3.000	1.588	0.111	0.105	0.111
	R68	9	3.000	1.316	0.000	0.370	0.392
	R107	9	5.000	2.077	0.667	0.519	0.549
	R114	9	3.000	1.409	0.333	0.290	0.307
	D16Rat81	9	2.000	1.670	0.556	0.401	0.425
	<b>Promedio</b>		<b>9</b>	<b>3.222</b>	<b>2.036</b>	<b>0.444</b>	<b>0.449</b>
<b>El Cedral</b>	R 14	6	5.000	3.600	0.667	0.722	0.788
	R17	6	2.000	2.000	0.667	0.500	0.545
	R21	6	4.000	2.057	0.500	0.514	0.561
	R22	6	3.000	2.571	0.000	0.611	0.667
	R67	6	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000
	R68	6	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000
	R107	6	3.000	2.000	0.667	0.500	0.545
	R114	6	2.000	1.946	0.500	0.486	0.530
	D16Rat81	6	2.000	1.800	0.667	0.500	0.545
	<b>Promedio</b>		<b>6</b>	<b>2.556</b>	<b>1.997</b>	<b>0.407</b>	<b>0.420</b>
<b>Colonos Cuzamil</b>	R 14	5	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000
	R17	5	3.000	2.632	0.600	0.620	0.689
	R21	5	4.000	2.941	1.000	0.660	0.733
	R22	5	2.000	1.923	0.000	0.480	0.533
	R67	5	2.000	1.220	0.200	0.180	0.200

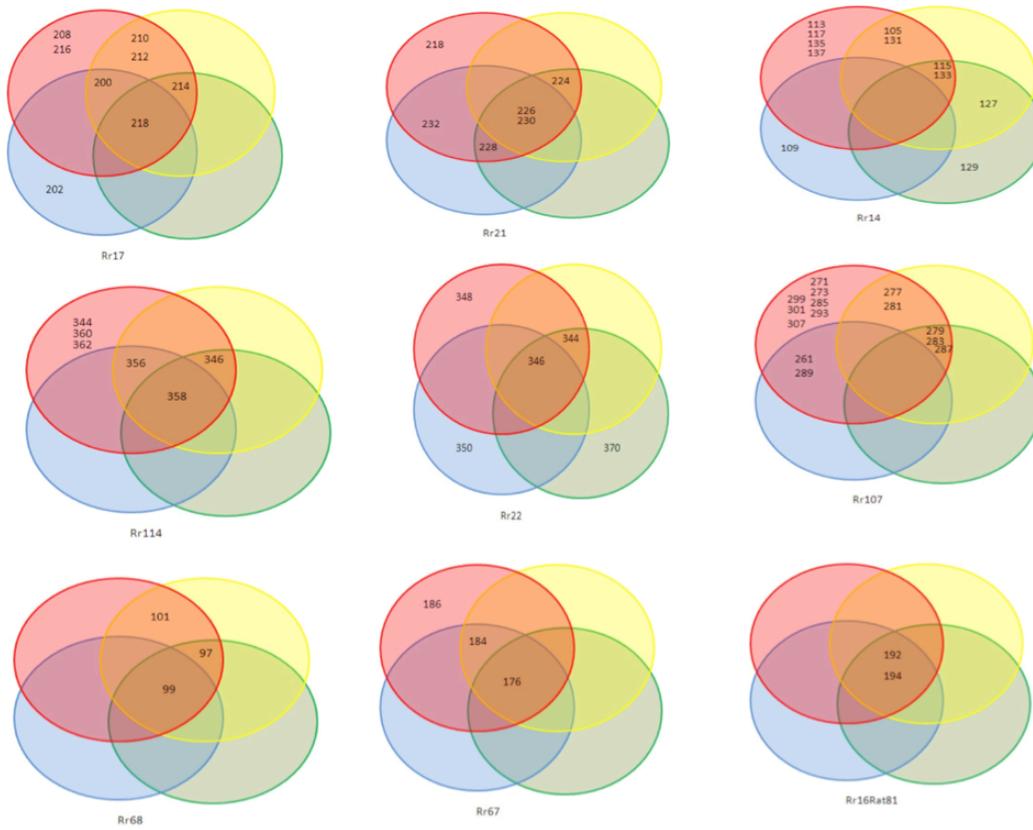
<b>Población</b>	<b>Locus</b>	<b>N</b>	<b>Na</b>	<b>Ne</b>	<b>Ho</b>	<b>He</b>	<b>H<sub>NEI</sub></b>
	R68	5	2.000	1.471	0.000	0.320	0.356
	R107	5	2.000	1.724	0.600	0.420	0.467
	R114	5	2.000	1.923	0.000	0.480	0.533
	D16Rat81	5	2.000	1.220	0.200	0.180	0.200
	<b>Promedio</b>	<b>5</b>	<b>2.222</b>	<b>1.784</b>	<b>0.289</b>	<b>0.371</b>	<b>0.412</b>
<b>Isla Cozumel</b>	R 14	48	11.000	6.111	0.333	0.836	0.845
	R17	48	8.000	4.692	0.667	0.787	0.795
	R21	48	6.000	4.201	0.708	0.762	0.770
	R22	48	6.000	1.850	0.271	0.459	0.464
	R67	48	3.000	1.811	0.354	0.448	0.452
	R68	48	3.000	1.502	0.188	0.334	0.338
	R107	48	14.000	6.227	0.708	0.839	0.848
	R114	48	6.000	2.487	0.438	0.598	0.604
	D16Rat81	48	2.000	1.411	0.354	0.291	0.295
	<b>Promedio</b>	<b>48</b>	<b>6.556</b>	<b>3.366</b>	<b>0.447</b>	<b>0.595</b>	<b>0.601</b>

**Cuadro 7.** Análisis molecular de varianza (AMOVA) para las poblaciones de *Rattus rattus* estudiadas en isla Cozumel, México.

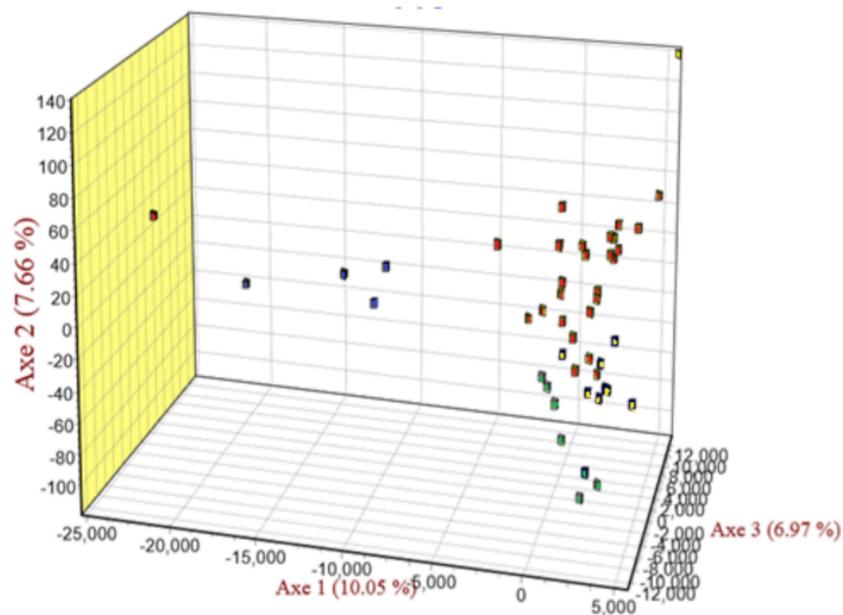
<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Componentes de la varianza</b>	<b>Porcentaje de variación (%)</b>	<b>P</b>
Entre poblaciones	2	18.847	0.29046	15.44	<0.001
Entre individuos dentro de las poblaciones	43	82.099	0.31877	16.95	<0.001
Dentro de los individuos	46	58.500	1.27174	67.61	<0.001
Total	91	159.446	1.88097		

**Cuadro 8.** Valores de diferenciación genética (Fst) entre las poblaciones de *Rattus rattus* estudiadas en isla Cozumel, México.

<b>Población</b>	<b>Fst</b>
San Miguel-Relleno Sanitario	0.078
San Miguel-El Cedral	0.132
San Miguel-Colonos Cuzamil	0.266
Relleno Sanitario-El Cedral	0.095
Colonos Cuzamil-Relleno Sanitario	0.338
Colonos Cuzamil-El Cedral	0.308



**Figura 13.** Diagramas de Venn que muestran los alelos exclusivos y los compartidos entre las poblaciones estudiadas de *Rattus rattus*, en cada grupo genético, por locus y considerando todos los loci en conjunto (global). Grupos genéticos: San Miguel (rojo), El Cedral (verde), relleno sanitario (amarillo), Colonos Cuzamil (azul).



**Figura 14.** Análisis factorial de correspondencia basado en los genotipos de *Rattus rattus* donde se muestra que los tres ejes explican 25% de la diferenciación. El color de los símbolos se refiere a: rojo=San Miguel, verde=El Cedral, amarillo=relleno sanitario, azul=Colonos Cuzamil.

### **Programa de Manejo de las Especies Exóticas a Cozumel**

Se presenta por separado en este documento nuestra propuesta de programa manejo de las especies exóticas de Cozumel (ver abajo, después de la sección de Conclusiones).

## Discusión

Propusimos que obtendríamos y recopilaríamos durante el proyecto un total de 140 registros de especies exóticas de Cozumel (Cuadro 9). Con el trabajo de campo realizado en este proyecto logramos superar de manera muy importante esa cifra (Cuadro 1). El total de registros obtenidos en campo durante este periodo y los registros históricos compilados equivalen al 850% del total propuesto originalmente en el proyecto. Consideramos que hemos cubierto el porcentaje de avance esperado en todos los aspectos del proyecto (Cuadro 10).

**Cuadro 9.** Número aproximado de especies y registros que se anticipó se obtendrían con este proyecto.

<b>Grupo taxonómico</b>	<b>Familias</b>	<b>Géneros</b>	<b>Especies</b>	<b>Registros</b>
Reptiles	1	1	1	20
Mamíferos	3	4	5	120
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>140</b>

**Cuadro 10.** Indicadores de progreso o de éxito para el segundo semestre del proyecto, indicando el porcentaje de avance esperado y el logrado.

<b>Actividades por informe</b>	<b>Avance esperado (%)</b>	<b>Avance logrado (%)</b>
Programa de captura de animales con trampas tipo Sherman	100	100
Estimar la abundancia y distribución de perros, gatos y boas mediante recorridos por las vialidades de la isla	100	100
Estimar la abundancia y distribución de perros, gatos y boas mediante fototrampeo	100	100
Recolección de muestras para análisis genéticos	100	100
Recopilación y sistematización de registros de especies exóticas	100	100
Recopilación de base de datos histórica	100	100
Recopilación base de datos de trampeos nuevos	100	100
Recopilación datos de fototrampeo (fotos)	100	100
Trabajo de laboratorio: análisis genético	100	100
Salidas al campo	100	100

El análisis de la distribución y abundancia de los vertebrados exóticos en la isla Cozumel ratifica que la especie de vertebrado exótico más abundante y con una distribución más amplia en la isla son los perros.

Los gatos ferales, de manera consistente e independientemente del método de muestreo utilizado (salvo las trampas Tomahawk o Havahart), son menos abundantes que los perros ferales y el resto de las especies de estudio. Esto contrasta con lo que suele suceder en otros sistemas insulares donde los gatos suelen ser más abundantes que los perros.

Nuestros muestreos derivados de este proyecto parecen confirmar que la boa, que hasta hace unos años era abundante, ahora parece tener una población reducida y una aparente contracción en su distribución en comparación con los años anteriores. La boa que es depredador de algunas de las especies nativas de la isla (González 2006). Aunque su población se ha reducido, se debe mantener atención sobre su dinámica y su efecto en la biota nativa. Debe considerarse que gran parte de la actividad de la boa en Cozumel es subterránea, en cavidades en el terreno cárstico, por lo que puede pasar desapercibida. Como con el resto de las especies exóticas, debe darse seguimiento a sus tendencias poblacionales y en área de ocupación.

Otro patrón que parece confirmarse es la aparente ausencia o reducida población de *Mus musculus* y *Rattus rattus* en las zonas conservadas de Cozumel. Se deberán hacer muestreos periódicos en distintas áreas conservadas para confirmar esta situación o para detectar oportunamente eventos de dispersión o invasión hacia estas zonas de la isla.

El mayor éxito de muestreo de ambas especies de roedores exóticos fue en la zona urbana de San Miguel y en el relleno sanitario; es decir, su distribución y abundancia está directamente relacionada con la presencia humana (distancia mínima) y el almacenamiento de basura (relleno sanitario). La abundancia disminuye hacia zonas con vegetación conservada; por ejemplo, los individuos capturados en El Cedral fueron en zona con influencia antrópica, donde además no se capturó *Mus musculus*.

De acuerdo con nuestros datos, el relleno sanitario y la casa de Doña Mirsa constituyen los dos únicos sitio de muestreo donde *M. musculus* y *R. rattus* coexisten, por lo que con las evidencias disponibles hasta ahora, podemos suponer una exclusión competitiva entre estas especies. Aunque con una baja abundancia relativa, debe destacarse el relleno sanitario ya que constituye un sitio potencial desde el cual se pueden dispersar estas especies exóticas a áreas silvestres de la isla.

Fue evidente la correlación entre la captura o no de animales, así como el número de organismos capturados con el nivel socioeconómico de las personas ocupantes de los sitios donde se colocaron las trampas. También se observó que en aquellos sitios como restaurantes y muelles que tenían trampas tipo dispensador de alimento destinadas para el control de plagas, nuestro éxito de captura fue nulo. Lo alarmante de esta situación es que en algunos sitios estas trampas estaban colocadas estratégicamente en colindancia con la selva, por lo que no se descarta que estén afectando a organismos silvestres nativos.

La alta diversidad genética de los roedores exóticos y el hecho de que ésta sea mayor a nivel de los individuos (y no entre localidades) para ambas especies, sugiere que hay un alto recambio; es decir, que hay un ingreso constante de nuevos individuos, por ejemplo en los barcos y ferries que llegan diariamente a la isla. Este hecho se corrobora además con los resultados de parentesco, donde para ambas especies el mayor porcentaje es de individuos no relacionados. Asimismo, los resultados de estructura y flujo génico indican que hay poco movimiento de individuos entre sitios, lo cual debe ser un factor importante en relación con la mínima presencia (invasión) de zonas conservadas.

El hecho de que la mayor tasa de migración observada sea entre el relleno sanitario y El Cedral y entre el relleno sanitario y San Miguel para *R. rattus*, y entre el relleno sanitario y San Miguel para *M. musculus* demuestra que los individuos deben estar siendo movilizados de manera antrópica; por ejemplo, vía la transportación de basura hacia el relleno sanitario.

Las cinco especies exóticas son potencialmente perniciosas para la fauna nativa de la isla, particularmente para las especies endémicas y con un estado de conservación delicado. Aunque algunas de las especies de estudio no parezcan tener poblaciones abundantes, es importante que aún se consideren como elementos de riesgo para la biota nativa de Cozumel, ya que pueden ser importantes depredadores, competidores, portadores de enfermedades, entre otros.

Por estudios previos, sabemos que los perros consumen diversas especies silvestres en Cozumel. En la cercanía (1 km o menos) a los asentamientos humanos los perros consumen una variedad de recursos alimentarios que van desde materia vegetal, hasta basura (Bautista 2006). En los lugares a distancias mayores de 1 km consumen exclusivamente fauna silvestre.

Las cuatro especies de mamíferos también son un riesgo sanitario por su potencial para contagiar enfermedades a los mamíferos nativos. De particular preocupación son los perros y su potencial para contagiar enfermedades como rabia y moquillo. Hace un par de décadas que no hay registros de rabia en Cozumel, pero recientemente se registró un brote de moquillo en los perros urbanos de San Miguel.

Se debe dar seguimiento de largo plazo a las poblaciones y distribución de estas especies en Cozumel. Es fundamental desarrollar acciones agresivas para el control y, si es posible, erradicación de los vertebrado exóticos en Cozumel. Para ello, se deben considerar las acciones planteadas en el programa de manejo propuesto como resultado de este proyecto.

## **Conclusiones**

Consideramos que cumplimos satisfactoriamente, y con creces, con los objetivos que nos planteamos con este proyecto.

Existen poblaciones significativas de cuatro de las cinco especies de estudio. De ellas, los perros son los más abundantes y están dispersos por toda la isla. Los gatos tienen una población menor, pero también se encuentran dispersos tanto en áreas urbanas como rurales de la isla. Las ratas y ratones tienen poblaciones importantes, pero están asociadas a los sitios de presencia humana, ya que no se registraron en las selvas de la isla. La boa, que fue muy abundante en el pasado (Romero-Nájera *et al.* 2007), tiene ahora poblaciones mucho menores, ya que se detectaron muy pocos individuos durante este estudio.

Las cinco especies exóticas son potencialmente perniciosas para la fauna nativa de la isla, particularmente para las especies endémicas y con un estado de conservación delicado. Se debe dar seguimiento de largo plazo a las poblaciones y distribución de estas especies en Cozumel. Es fundamental desarrollar acciones contundentes para el control y, si es posible, llevar a cabo una erradicación de los vertebrados exóticos en Cozumel. Para ello, se deben considerar las acciones planteadas en el programa de manejo propuesto como resultado de este proyecto.

## PROGRAMA DE MANEJO DE ESPECIES EXÓTICAS A COZUMEL

### Introducción

La isla Cozumel tiene una extraordinaria diversidad biológica, con un alto nivel de endemismo; sin embargo, se encuentra severamente amenazada por las especies de vertebrados exóticos a la isla. Entre ellas destacan los perros ferales y callejeros (*Canis familiaris*), gatos ferales y callejeros (*Felis catus*), ratas (*Rattus* sp), ratones (*Mus musculus*) y boa (*Boa imperator*), pero además de estas, cada vez se registran más especies problemáticas en Cozumel. Con base en un reciente diagnóstico del estado de las invasiones biológicas de vertebrados exóticos en la isla Cozumel, en el cuál se obtuvo y sistematizó información para las cinco principales especies de vertebrados invasores exóticos en la isla, se presenta aquí una propuesta de programa de manejo. Como parte de ese diagnóstico se recopiló información de campo sobre la distribución y abundancia de perros y gatos ferales, ratas y ratones de casa, y de la boa, y se sistematizó información sobre ese mismo tema que hemos recabado en Cozumel desde 1994. Adicionalmente, con el propósito de entender mejor los patrones de poblamiento y de dispersión de individuos en la isla, determinamos la diversidad y estructura genética de las especies de roedores exóticos (*Mus musculus* y *Rattus* sp) utilizando marcadores moleculares nucleares (microsatélites). Utilizamos la información obtenida y sistematizada para diseñar un programa de manejo con el propósito de controlar, e idealmente erradicar a las especies de vertebrados exóticos de Cozumel y que permita la recuperación y conservación de las especies de vertebrados nativos de la isla y particularmente de los endémicos insulares. Con este programa de manejo identificamos los ejes temáticos principales, las necesidades materiales, humanas y financieras, así como las acciones específicas a desarrollar para lograr ese propósito.

En este Programa de Manejo de Especies Exóticas de Cozumel se enfatiza un enfoque de prevención. Sin embargo, en vista de que ya existe un serio problema con poblaciones de especies exóticas firmemente establecidas en la isla, es fundamental realizar intervenciones para controlar y eventualmente erradicar a estas especies. Se identifican las acciones principales para lograr ese propósito. Para ello, aplicaremos el conocimiento más detallado sobre la problemática de las especies exóticas de Cozumel, junto con los últimos adelantos teóricos y metodológicos de las ciencias de manejo de poblaciones y planeación ambiental para desarrollar las acciones propuestas en este programa de manejo.

El programa de manejo consiste en las siguientes líneas de acción, cada una con diversas actividades:

- a) PREVENCIÓN
- b) CONTROL Y ERRADICACIÓN
- c) EDUCACIÓN
- d) CAPACITACIÓN
- e) DIFUSIÓN
- f) COORDINACIÓN INTRA E INTERINSTITUCIONAL
- g) INVESTIGACIÓN Y MONITOREO
- h) INVERSIÓN Y FINANCIAMIENTO
- i) MARCO LEGAL

Para cada línea de acción se hace una breve introducción que justifica las actividades que se proponen en seguida. En algunos casos se incluyen observaciones con aclaraciones importantes.

## Objetivo

El objetivo de este programa de manejo es orientar las decisiones y acciones para el control de las especies exóticas en la isla Cozumel que a su vez facilite la recuperación de las especies nativas de la isla.

### A) Línea de Acción: PREVENCIÓN

La prevención es fundamental para evitar los efectos negativos de las especies exóticas en Cozumel. En términos simples, si las especies exóticas no llegan a Cozumel o no se dispersan en la isla, se evitará el daño que puedan provocar. Además de evitar la introducción de especies, es fundamental con ello evitar la potencial introducción de enfermedades y patógenos, además de mantener los ya existentes en la isla dentro de niveles bajos que eviten el surgimiento de epizootias. Una manera de lograrlo es estableciendo barreras físicas a la introducción o filtros institucionales u operativos que limiten la introducción o repoblamiento de especies exóticas a la isla Cozumel. Estos deben establecerse en los muelles y aeropuertos de Cozumel, pero también en los de los puntos de embarque principales desde donde se transporta gente, bienes y otros materiales a Cozumel. En ellos se deben realizar las actividades que se señalan a continuación y se deberá contar con instalaciones adecuadas y personal calificado. También se deben realizar actividades dirigidas a prevenir que, una vez en la isla, las especies exóticas se dispersen en ella y amplíen su área de distribución y sus efectos negativos.

**Actividad 1.** Reforzar los programas y actividades de control en aeropuertos, muelles y zonas de entrada de embarcaciones a la isla, para prevenir la entrada de especies exóticas a la isla.

**Actividad 2.** Construir instalaciones para el albergue y contención de especies nativas y exóticas en Cozumel y en algún sitio cercano en la península de Yucatán.

**Actividad 3.** Realizar una supervisión, verificación y seguimiento estricto de certificados sanitarios (incluido el programa de vacunación y esterilización) de los animales que se pretende ingresar a la isla. Actualmente el certificado sanitario no es un requisito para ingresar animales y plantas a Cozumel; sin embargo, por su carácter insular es fundamental que este tipo de certificados sea un requisito para ingresar animales y plantas a la isla.

**Actividad 4.** Establecer un periodo de cuarentena obligatorio en instalaciones adecuadas para los animales que se pretende ingresar a la isla y que no cumplen con los criterios requeridos de sanidad, vacunación y esterilización, y la documentación correspondiente.

**Actividad 5.** Definir un protocolo de inspección de embarcaciones y cargamentos priorizando aquellos que puedan ser mas susceptibles o conducentes a introducir especies a la isla.

**Actividad 6.** Realizar la inspección rigurosa de cargamentos dirigidos a la isla con el fin de evitar la introducción de especies.

**Actividad 7.** Cumplimiento con el lineamiento ecológico del Programa de Ordenamiento Ecológico Local (POEL) del Municipio de Cozumel que restringe la introducción de especies exóticas a la isla. Las estrategias generales del POEL establecen que “Se prohíbe la introducción de especies de flora y fauna”, “Se debe promover un programa de erradicación de perros, gatos y ganado ferales, boas (*Boa*

*constrictor*), ratas de ciudad (*Rattus rattus*, *Rattus norvegicus*) ratones de casa (*Mus musculus*)” y además, “Queda prohibido el uso de venenos en los programas de erradicación de especies introducidas”. Asimismo, hay referencias en el POEL a la prohibición de la introducción de especies en las Estrategias de Flora y Fauna de cada una de las 32 distintas Unidades de Gestión Ambiental en las que está zonificado el municipio.

**Actividad 8.** Respeto y cumplimiento estricto de las herramientas de gestión territorial vigentes en la isla, incluyendo el Programa de Ordenamiento Ecológico Local, el Programa de Desarrollo Urbano y los planes de manejo de las áreas naturales protegidas. Dada la asociación directa de la presencia de ratas y ratones exóticos y, en menor grado, de perros y gatos con los humanos, se puede afirmar que la presencia de éstas especies exóticas se extenderá conforme crezca la urbanización y el cambio de uso de suelo en la isla, por lo que una medida de control es evitar el crecimiento urbano anárquico.

## **B) Línea de Acción: CONTROL y ERRADICACIÓN**

Las abundantes poblaciones de especies exóticas y el efecto negativo que tienen o pueden tener sobre las poblaciones y ecosistemas nativos de Cozumel hacen que sea indispensable realizar acciones para el control de dichas especies y minimizar sus efectos negativos. Se deben ejecutar acciones para reducir la abundancia y limitar la distribución de las poblaciones de especies exóticas en Cozumel, así como evitar su repoblamiento. Se debe buscar controlar estas poblaciones con la meta última de erradicarlas de la isla eventualmente.

A continuación se listan las principales actividades a desarrollar para el control de las especies exóticas, en general, y para cada grupo de animales.

### *General*

**Actividad 1.** No realizar liberaciones de especies exóticas en Cozumel bajo ninguna circunstancia. Si hay sospecha de que algún individuo pueda ser parte de una especie y población nativa de la isla, el espécimen se deberá albergar en un sitio adecuado, mientras se hacen los estudios genéticos y morfométricos adecuados.

**Actividad 2.** Establecer un protocolo de procedimientos sobre qué hacer con los animales de especies exóticas decomisados, capturados, donados, o recibidos de otra manera.

**Actividad 3.** Realizar un esfuerzo continuo de captura de individuos para contener las poblaciones de especies exóticas dentro de la zona urbana y evitar así que se expandan más allá de ésta. La captura y, en su caso, el sacrificio de individuos deberá concentrarse en las áreas periurbanas para impedir su dispersión hacia las zonas silvestres de la isla.

**Actividad 4.** Sacrificar (eutanacia) los individuos de especies exóticas para los que no haya otra opción viable mediante protocolos reconocidos en términos humanitarios y de bienestar animal.

**Actividad 5.** Disponer de manera responsable de los restos de los animales de especies exóticas.

**Actividad 6.** Establecer un sistema de verificación de procedimientos y buenas prácticas para el bienestar animal en los centros de recepción de animales y todas las prácticas de control de especies exóticas.

**Observaciones:** Deberá asegurarse de que se usen prácticas seguras de control de especies exóticas que no pongan en riesgo a las especies nativas. Para un destino como Cozumel, con múltiples especies endémicas, no son viables los programas extensivos de envenenamiento que se han utilizado en otras islas más pequeñas y menos diversas biológicamente.

#### *Perros y gatos*

**Actividad 7.** Ejecutar un programa intensivo y permanente de inmunización y esterilización de perros, gatos y otras mascotas.

**Actividad 8.** Instaurar y operar una clínica móvil para llevar atención veterinaria, especialmente inmunización y esterilización de perros, gatos y otras mascotas, a las zonas periurbanas de San Miguel y El Cedral, así como los ranchos en zonas rurales de la isla.

**Actividad 9.** Ejecutar un programa de captura de perros y gatos callejeros o no supervisados en las zonas urbanas de Cozumel.

**Actividad 10.** Ejecutar un programa de captura de perros y gatos ferales o no supervisados en las áreas silvestres de Cozumel.

**Actividad 11.** Ejecutar un programa de captura de perros y gatos ferales o no supervisados en el relleno sanitario y otros sitios de grandes concentraciones de estos animales en Cozumel.

**Actividad 12.** Definir un sistema o protocolo de *triage* (clasificación y priorización) para definir el futuro de perros y gatos ferales y callejeros que sean capturados y llevados a alguno de los centros de recepción de animales. Este deberá considerar cuestiones como las características de cada animal individual (*i. e.*, edad, sexo, potencial para ser adoptado), la disponibilidad de espacios de resguardo, alimento, personal para su mantenimiento, entre otros asuntos.

**Actividad 13.** Reforzar los programas de adopción de perros y gatos por dueños responsables en la isla o fuera de ella.

**Actividad 14.** Reforzar los programas de supervisión veterinaria (inmunización, esterilización y aspectos sanitarios) para perros y gatos que se vayan a adoptar en la isla o fuera de ella.

#### *Ratas y ratones*

**Actividad 15.** Realizar un esfuerzo continuo de trapeo y sacrificio de *Mus musculus* y *Rattus rattus* principalmente en las áreas periurbanas de San Miguel y El Cedral, y de ser posible en sitios estratégicos dentro de estas zonas urbanas (mercados, el centro de transferencia de residuos y el relleno sanitario); así como en los asentamientos a lo largo de la carretera transversal, en la zona del relleno sanitario, en los restaurantes y clubes de playa, y en los hoteles de las zonas hoteleras sur y norte. Estas actividades también se deberán realizar en los principales muelles, particularmente en el Muelle Fiscal y en el de los ferries, y dentro del perímetro del aeropuerto y la base aérea militar. Es fundamental que

no se empleen trampas para roedores no selectivas (trampas comerciales) en las zonas aledañas a vegetación nativa, pues se corre el riesgo de eliminar roedores nativos (Borja-Martínez 2017).

**Actividad 16.** Control poblacional de ratas y ratones exóticos en los vehículos utilizados para el transporte de residuos en la zona urbana y al relleno sanitario.

**Actividad 17.** Orientar las acciones de control de especies exóticas en sitios como restaurantes y hoteles costeros, y en el muelle fiscal para que no se aplique indiscriminadamente el uso de trampas tipo dispensador de alimento destinadas para el control de plagas en áreas colindantes con la selva y otras áreas silvestres para evitar afectar organismos silvestres nativos.

**Observaciones:** Deberá asegurarse que se usen prácticas seguras de control de ratas y ratones exóticos que no pongan en riesgo a las especies nativas. Para un destino como Cozumel, con múltiples especies endémicas, no son viables los programas extensivos de envenenamiento que se han utilizado en otras islas más pequeñas y menos diversas biológicamente.

### *Boa*

**Actividad 18.** No realizar liberaciones de boas capturadas en Cozumel en ningún lugar silvestre de México, y de preferencia que se sacrifiquen o se alberguen en sitios donde no haya riesgo de que se escapen o liberen.

**Actividad 19.** Evaluar si el aprovechar partes de las boas (por ejemplo, pieles, carne) puede ser viable sin crear presiones adicionales sobre las poblaciones silvestres continentales. En caso de ser viable, esta practica solamente la podrán realizar iniciativas que sigan códigos de buenas practicas y que cuenten con todos los permisos correspondientes.

**Observaciones:** Debido a las características genéticas de la población de boas de Cozumel, no se recomienda el uso de las boas de Cozumel para programas de reproducción en cautiverio con fines de conservación de la especie.

## **C) Línea de Acción: EDUCACIÓN**

Una parte fundamental del problema de las especies exóticas en Cozumel y otros sitios en general, es la falta de conocimiento de la población sobre los efectos de estas especies y el papel que juega la sociedad en su introducción, dispersión y crecimiento poblacional. Es esencial incorporar en los programas de educación formal y no formal de Cozumel (y también de otros sitios) información sobre las especies exóticas a la isla, los efectos que éstas tienen, incluyendo sus efectos en la salud pública y animal. También sobre la cercana vinculación que éstas especies tienen con la población y los asentamientos humanos, y las acciones preventivas para resolver esta problemática. Esta deficiencia se debe enfrentar mediante programas educativos. Estos programas deben dirigirse a la población en general, incluyendo los programas de educación formal e informal a todos niveles. Con ello se debe buscar informar, crear conciencia y promover actitudes positivas que permitan prevenir y controlar el problema de las especies exóticas.

**Actividad 1.** Realizar campañas de educación intensiva sobre la tenencia responsable de mascotas.

**Actividad 2.** Realizar campañas de educación para evitar o reducir la tenencia de animales silvestres como mascotas.

**Actividad 3.** Realizar campañas de educación sobre manejo de residuos sólidos y otros desechos.

**Actividad 4.** Publicar una guía de campo de la especies nativas y exóticas de Cozumel con información sobre su problemática.

#### **D) Línea de Acción: CAPACITACIÓN**

Se requiere capacitar al personal que actuará en los distintos aspectos del control de las especies exóticas. La capacitación busca el entrenamiento de los funcionarios gubernamentales y profesionales relacionados con los animales domésticos y la fauna silvestre sobre temas que apoyen la prevención, control, erradicación y monitoreo de especies exóticas y sus efectos sobre la biota nativa y la sociedad local. Los grupos prioritarios a los que se deben dirigir estos programas de capacitación en un plazo inmediato son el personal de los sitios de origen y entrada a Cozumel (*e. g.*, muelles, aeropuerto), el personal de la CONANP, PROFEPA, SAGARPA, SENASICA, Gobierno de Quintana Roo (SEMA) y sobretodo del H. Ayuntamiento de Cozumel. También se debe enfocar al personal de las compañías de transportistas que llegan a Cozumel, lo mismo que de las compañías constructoras que trabajan en la isla y quienes importan bienes y materiales a Cozumel, entre otros.

**Actividad 1.** Impartir programas de capacitación al menos sobre los siguientes temas:

- Problemática de las especies exóticas en Cozumel.
- Identificación de especies nativas y especies exóticas.
- Técnicas de manipulación de animales silvestres y especies exóticas.
- Técnicas de manejo de especies en cautiverio.
- Identificación de signos de salud relacionadas a enfermedades de animales domésticos y fauna silvestre.

**Actividad 2.** Capacitar al personal docente de los centros educativos de Cozumel de todos los niveles sobre la información básica de la problemática y el manejo de las especies exóticas en Cozumel.

**Actividad 3.** Desarrollar un programa de capacitación para los estudiantes de Manejo de Recursos Naturales y otros temas afines en la Universidad de Quintana Roo y otras universidades locales.

#### **E) Línea de Acción: DIFUSIÓN**

Es esencial que la población de Cozumel y de los sitios principales donde viven las personas que viajan frecuentemente a la isla estén bien informados sobre la problemática de las especies exóticas en Cozumel. Para ello es necesaria una amplia e intensiva estrategia de comunicación y difusión, utilizando diferentes medios, y herramientas para informar y sensibilizar a la población sobre estos temas.

**Actividad 1.** Diseñar una estrategia de difusión sobre la problemática y el manejo de las especies exóticas en Cozumel.

**Actividad 2.** Aprovechar los diferentes medios de difusión en la isla (internet, radio, televisión, prensa escrita, letreros en bardas, folletos y otros) para informar a la población sobre la problemática y el manejo de las especies exóticas en Cozumel.

**Actividad 3.** Realizar un documental sobre la problemática y el manejo de las especies exóticas en Cozumel para su difusión en los ferries que cruzan a la isla y en otros foros de la isla y el país.

#### **F) Línea de Acción: COORDINACIÓN INTRA E INTERINSTITUCIONAL**

Se requiere de la participación y colaboración coordinada de las diferentes instituciones de los tres niveles de gobierno, academia y sociedad civil para atender los retos del manejo de las especies exóticas en Cozumel.

**Actividad 1.** Creación de mecanismos de coordinación y colaboración efectiva entre las dependencias de los tres niveles de gobierno relacionadas con el manejo de las especies exóticas en Cozumel y sus sitios de origen (SEMARNAT, SAGARPA, SEP, SENASICA, PROFEPA, CONANP, CONABIO, API, SUMA, H. Ayuntamiento de Cozumel, entre otros).

**Actividad 2.** Creación de mecanismos de coordinación y colaboración efectiva entre las diferentes instancias de los tres niveles de gobierno y organismos del sector privado como son los operadores de los muelles, el aeropuerto y el relleno sanitario.

**Actividad 3.** Establecer mecanismos para que estas iniciativas trasciendan los cambios de administraciones de gobierno y de las instancias privadas.

**Actividad 4.** Creación de una coalición de profesionales e instituciones cozumeleñas o que trabajan en Cozumel (e. g., veterinarios, biólogos, educadores, clínicas veterinarias, Sociedad Humanitaria de Cozumel, Fundación de Parques y Museos, Centro de Control Animal, academia y otros) para atender la problemática de las especies exóticas, considerando temas como los programas de esterilización y vacunación de perros y gatos, y otros asuntos considerados en este programa de manejo.

#### **G) Línea de Acción: INVERSIÓN Y FINANCIAMIENTO**

Se debe contar con suficientes y oportunos recursos humanos, materiales y financieros a largo plazo para la ejecución del presente programa de manejo.

**Actividad 1.** Adquirir equipo adecuado para la captura, contención y transportación de especies exóticas (e. g., vehículos, equipos y materiales para contención química y física, jaulas y contenedores, trampas de distintos tipos, trampas-cámara, binoculares, otro equipo de campo, sedantes para sacrificio de animales, guantes y equipo de protección, y equipo y material quirúrgico).

**Actividad 2.** Construir, en algún sitio apropiado en Cozumel y también en algún sitio cercano de la península de Yucatán, centros de atención animal que sean instalaciones que tengan capacidad suficiente para albergue temporal de especies exóticas (cuarentena y estancias de corto plazo). Estos centros deberán tener capacidad para albergar una diversidad de especies de distintos tamaños. Deberán contar cada uno con una clínica para atención veterinaria.

**Actividad 3.** Contar, en cada centro de atención animal, con equipo y materiales para el sacrificio humanitario de animales de especies exóticas a Cozumel.

**Actividad 4.** Contar, en cada centro de atención animal, con equipo adecuado para la disposición adecuada de los restos de los animales sacrificados (incinerador).

**Actividad 5.** Dar mantenimiento rutinario y, cuando sea necesario, correctivo a los centros de atención animal.

**Actividad 6.** Contar con suficiente personal para la operación de los centros de atención animal.

**Actividad 7.** Contar con suficiente personal para realizar las labores de control, investigación y monitoreo de poblaciones de especies exóticas y nativas en las zonas urbanas y silvestres de Cozumel.

**Actividad 8.** Contar con suficientes profesionales técnicos (veterinarios, biólogos, manejadores de recursos, etc.) para supervisar el trabajo técnico en los centros de atención animal y para el trabajo de campo para labores de control, investigación y monitoreo de poblaciones de especies exóticas y nativas en las zonas urbanas y silvestres de Cozumel.

**Actividad 9.** Crear una coalición de clínicas veterinarias para dar atención a los perros y gatos de la comunidad a precios accesibles.

**Actividad 10.** Contar con suficiente equipo y material para vacunación y esterilizaciones, y de otra atención veterinaria de perros, gatos y otras especies.

**Actividad 11.** Proveer de financiamiento constante, suficiente y oportuno para la alimentación de animales albergados en el centro de atención animal y otras instalaciones destinadas para ello en la isla y el sitio cercano en la península de Yucatán.

**Actividad 12.** Disponer de financiamiento para una campaña permanente de difusión pública sobre la problemática de las especies exóticas en Cozumel.

**Actividad 13.** Disponer de financiamiento para la capacitación de funcionarios y profesionales en temas relacionados con el manejo de las especies exóticas a Cozumel.

**Actividad 14.** Creación de un fondo o fideicomiso para el control de especies exóticas en Cozumel con el propósito de dar certidumbre a la disponibilidad de recursos materiales, humanos y financieros, y de dar transparencia al uso de dichos recursos.

**Actividad 15.** Crear y operar un programa de estímulos o subsidios para apoyar el trabajo de la comunidad de veterinarios (y otros profesionales) de la isla, para evitar conflictos por posible o percibida competencia desleal de quienes cuentan con recursos gubernamentales o de otras fuentes.

**Actividad 16.** Establecer un esquema para financiamiento permanente por gobierno federal, estatal, municipal, organismos internacionales y el sector privado (e. g., empresas locales, compañías de cruceros, particulares, entre otros).

## H) Línea de Acción: INVESTIGACIÓN Y MONITOREO

Se requiere realizar trabajo de investigación para complementar y profundizar el diagnóstico sobre las especies exóticas en Cozumel y su relación con la sociedad y las especies nativas, y con base en ello tomar decisiones informadas para su manejo. Se requieren acciones de seguimiento o monitoreo para determinar las tendencias de cambio en las poblaciones de especies exóticas y para evaluar la efectividad de las acciones emprendidas para resolver el problema de las especies exóticas en Cozumel.

### *Sobre las especies exóticas*

**Actividad 1.** Desarrollar una encuesta periódica sobre la población de perros y gatos mascota, y de otras especies en los hogares de Cozumel.

**Actividad 2.** Desarrollar una estimación periódica de la población urbana de perros y gatos.

**Actividad 3.** Desarrollar una encuesta periódica sobre conocimientos, actitudes y percepciones sobre las practicas de tenencia de mascotas y las especies exóticas y nativas.

**Actividad 4.** Desarrollar una evaluación de la distribución y abundancia de las especies exóticas.

**Actividad 5.** Desarrollar una evaluación de enfermedades (rabia, moquillo, leptospirosis, etc.) presentes en especies exóticas y domésticas en Cozumel.

**Actividad 6.** Desarrollar una evaluación de la diversidad y estructura genética de las especies exóticas.

**Actividad 7.** Desarrollar un sistema rápido y económico para la identificación de especies con base en marcadores moleculares, variables morfométricas estrictas y otra información.

**Actividad 8.** Desarrollar un sistema rápido para determinar el origen de las especies con base en marcadores moleculares y otra información.

**Actividad 9.** Registro y sistematización de información sobre cada animal observado, capturado, y recibido en los centros de atención animal y clínicas veterinarias, Sociedad Humanitaria de Cozumel y sitios de deposito de animales capturados, donados o decomisados.

**Observaciones:** De cualquier especie nueva que se registre en la isla, se requerirá obtener información de: (1) su calidad de especie introducida; (2) rutas de dispersión al interior de la isla, a través de análisis genéticos (micosatélites y secuencia de ADN) como los realizados para *Rattus* y *Mus*, y (3) definir posibles sitios de liberación continentales en el caso de las especies que se puedan beneficiar por esa práctica en sus lugares de origen.

### *Sobre las especies nativas*

Las actividades anteriores deberán complementarse con actividades que permitan determinar el efecto que las acciones de manejo de las especies exóticas están teniendo sobre poblaciones de las especies nativas y las interacciones y procesos ecológicas. Se debe dar un seguimiento de esto a largo plazo y en toda la isla.

**Actividad 10.** Monitoreo de las distribución y abundancia de las especies nativas de Cozumel.

**Actividad 11.** Evaluación de cambios en procesos e interacciones ecológicas y cascadas tróficas.

#### **I) Línea de Acción: MARCO LEGAL**

El marco legal define muchas de las acciones que se pueden emprender o las restricciones que se pueden encontrar en el control de las especies exóticas. Es importante que se conozca este marco y que se complemente para que se pueda ejecutar adecuadamente este programa de manejo.

**Actividad 1.** Difundir los lineamientos ecológicos en el Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Cozumel que restringen la introducción de especies exóticas a la isla.

**Actividad 2.** Regular la introducción de mascotas y animales a la isla, incluyendo mecanismos de revisión sanitaria y cuarentenaria.

**Actividad 3.** Revisar cómo se puede reforzar el marco legal que inhiba o impida la introducción de especies a la isla Cozumel.

**Actividad 4.** Difundir entre la población el marco legal sobre la introducción de especies.

## Literatura citada

- Abdelkrim J., Byron A.E., Gemell N.J. 2010. Fine-scale genetic structure of mainland invasive *Rattus rattus* populations: implications for restoration of forested conservation areas in New Zealand. *Conservation Genetics* 11: 1953-1969.
- Babiker, H., Tautz D. 2015. Molecular and phenotypic distinction of the very recently evolved insular subspecies *Mus musculus helgolandicus* ZIMMERMANN 1953. *BMC Evolutionary Biology* 15:160.
- Bautista Denis S.D. 2006. Distribución, abundancia y dieta de perros y gatos ferales en la Isla Cozumel. Tesis de maestría, Instituto de Ecología, A.C.
- Borja-Martínez G.A. 2017. Roedores invasores: estructura genética de *Mus musculus* y *Rattus rattus* en Isla Cozumel, México. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Comité Asesor Nacional sobre el Territorio Insular Mexicano. 2012. Estrategia Nacional para la Conservación y el Desarrollo Sustentable del Territorio Insular Mexicano. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Gobernación, Secretaría de Marina-Armada de México y Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. México, D.F. y Ensenada, B.C. 125 pp.
- Copa Alvaro M.E.C. 2007. Efectos de los huracanes Emily y Wilma en los mamíferos medianos de Cozumel. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cuarón A.D. 2009. Cozumel. p. 203-206 In: Gillespie R. and D.A. Clague, eds. *Encyclopedia of Islands*. University of California Press, Berkeley, EUA.
- Cuarón A.D., Martínez-Morales M.A., McFadden K.W., Valenzuela D., Gompper M.E. 2004. The status of dwarf carnivores on Cozumel Island, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 13:317-331.
- Cuarón, A.D., Valenzuela-Galván D., García-Vasco D., Copa M.E., Bautista S., Mena H., Martínez-Godínez D., González-Baca C., Bojórquez-Tapia L.A., Barraza L., de Grammont P.C., Galindo-Maldonado F., Martínez-Morales M.A., Vázquez-Domínguez E., Andresen E., Benítez-Malvido J., Pérez-Salicrup D., McFadden K.W., Gompper M.E. 2009. Conservation of the endemic dwarf carnivores of Cozumel Island, Mexico. *Small Carnivore Conservation* 41:15-21.
- Espindola S.R. 2013. Estructura y variabilidad genética de dos especies de roedores endémicos de la Isla Cozumel, Quintana Roo. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Espindola S., Gaggioti O., Cuarón A.D, Vázquez-Domínguez E. 2014. High genetic structure in the Cozumel Harvest mice, an endangered island endemic: conservation implications. *Conservation Genetics* 15: 1393-1402.
- Fortes Corona I.A. 2004. Ecología de los roedores endémicos de la Isla Cozumel, Quintana Roo, México. Tesis de licenciatura, Universidad de Guadalajara.
- Fuentes-Montemayor E., Cuarón A.D., Vázquez-Domínguez E., Benítez-Malvido J., Valenzuela D., Andresen E. 2009. Living on the edge: roads and edge effects on small mammal populations. *Journal of Animal Ecology* 78:857-865.
- García Aguilar A.S. 2010. Evaluación de los cambios en la estructura genética de *Oryzomys couesi cozumelae* posterior a los huracanes Emily y Wilma en Cozumel, Quintana Roo. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México.
- González Baca C.A. 2006. Ecología de forrajeo de la boa (*Boa constrictor*), un depredador introducido a la Isla Cozumel. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gutiérrez Granados G. 2003. Ecología de los roedores de Cozumel y su interacción con el sotobosque. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.

- Hardouin E.A., Orth A., Teschke M., Darvish J., Tautz D., Bonhomme F. 2015. Eurasian house mouse (*Mus musculus* L.) differentiation at microsatellite loci identifies the Iranian plateau as a phylogeographic hotspot. *BMC Evolutionary Biology* 15:26.
- Loiseau A., Rahelinirina S., Rahalinson L., Konecny A., Duplantier J. M., Brouat C. 2008. Isolation and characterization of microsatellites in *Rattus rattus*. *Molecular Ecology Resources* 8: 916-918.
- Martínez-Morales M.A. 1996. The Cozumel Curassow: Abundance, habitat preference and conservation. MPhil thesis, University of Cambridge, Reino Unido.
- Martínez-Morales M.A., Cuarón A.D. 1999. *Boa constrictor*, an introduced predator threatening the endemic fauna on Cozumel Island, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 8(7): 957-963.
- Mena González H. 2007. Presencia de *Leptospira* spp. y moquillo canino en poblaciones de perros y carnívoros silvestres en la Isla Cozumel. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Perdomo H. 2006. Caminos como barreras para el movimiento de aves y efectos del huracán Wilma, en una comunidad de aves de sotobosque de la selva mediana subcaducifolia. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Romero Nájera I. 2004. Distribución, abundancia y uso de hábitat de *Boa constrictor* introducida a la Isla Cozumel. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Romero-Nájera I., Cuarón A.D., González-Baca C. 2007. Distribution, abundance, and habitat use of introduced *Boa constrictor* threatening the native biota of Cozumel Island, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 16:1183-1195.
- Sotomayor Bonilla J.J. 2009. Asociación de *Leptospira* y los ratones endémicos y exóticos en la Isla Cozumel, México. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Torres Villegas C.P. 2006. Distribución, abundancia y comportamiento de perros y gatos en la Isla de Cozumel. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.