



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

DISTRIBUCIÓN DE MADRIGUERAS DE LA RATA
CANGURO *Dipodomys merriami insularis* Y SU
RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA
COMUNIDAD DE ROEDORES EN LA ISLA SAN JOSÉ,
BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

TESIS

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación Ecología)

Presenta

JORGE VÁZQUEZ PÉREZ

La Paz, Baja California Sur, Febrero de 2012

ACTA DE LIBERACION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 14 horas del día 08 del Mes de Febrero del 2012, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"Distribución de madrigueras de la rata canguro *Dipodomys merriami insularis* y su relación con la distribución espacial de la comunidad de roedores en la isla San José, Baja California Sur, México"

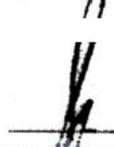
Presentada por el alumno:

Jorge Vázquez Pérez

Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACION EN Ecología de Zonas Áridas

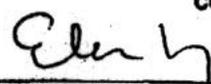
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA


DR. SERGIO TICUL ALVAREZ CASTAÑEDA
DIRECTOR DE TESIS


DRA. PATRICIA CORTÉS CALVA
CO-TUTOR


DR. PEDRO CRUZ HERNÁNDEZ
CO-TUTOR


DRA. EILEEN A. LACEY
CO-TUTOR


DR. WILLIAM Z. LIDICKER
CO-TUTOR


DRA. ELISA SERVIERE ZARAGOZA,
DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

CONFORMACIÓN DE COMITÉS

COMITÉ TUTORIAL

Director de tesis:

Dr. Sergio Ticul Álvarez Castañeda (CIBNOR, S. C.).

Co-Tutores:

Dra. Patricia Cortés Calva (CIBNOR, S. C.).

Dra. Eileen A. Lacey (Universidad de California, Berkeley).

Dr. Pedro Cruz Hernández (CIBNOR, S. C.).

Dr. William Z. Lidicker (Universidad de California, Berkeley).

COMITÉ REVISOR DE TESIS

Dr. Sergio Ticul Álvarez Castañeda

Dra. Patricia Cortés Calva

Dra. Eileen A. Lacey

Dr. Pedro Cruz Hernández

Dr. William Z. Lidicker

JURADO DE EXAMEN DE GRADO

Dr. Sergio Ticul Álvarez Castañeda

Dra. Patricia Cortés Calva

Dra. Eileen A. Lacey

Dr. Pedro Cruz Hernández

Dr. William Z. Lidicker

SUPLENTE:

Dr. Gustavo Alberto Arnaud Franco (CIBNOR, S. C.).

Dra. Sara Cecilia Díaz Castro (CIBNOR, S. C.).

RESUMEN

La rata canguro de la isla San José, *Dipodomys merriami insularis*, está considerada en peligro de extinción. A pesar de ello, poco se conoce sobre los factores que intervienen en su distribución local, lo cual es útil en el desarrollo de programas para su conservación. Por ello, el presente estudio tuvo como finalidad evaluar los factores que influyen la distribución de las madrigueras de *D. m. insularis* y su relación con la distribución espacial de la comunidad de roedores en la isla. El estudio se realizó en los períodos de marzo-mayo (MM) y octubre-noviembre (ON) de 2008. En un área de 78.9 ha de la isla San José, se aplicó el método de captura-marcaje y recaptura mediante el uso de trampas Sherman. Para todos los roedores se registró el estado reproductor, peso, medidas somáticas, y las coordenadas geográficas del sitio de captura y de las madrigueras de las ratas canguro. Además se caracterizó la vegetación circundante. El número de madrigueras de *D. m. insularis* incrementó con la diversidad y abundancia heterogénea de la vegetación. Además, las madrigueras tuvieron una mayor proximidad entre vecinos del sexo opuesto que del mismo sexo y la distancia entre vecinos adultos del sexo opuesto fue menor con respecto a los del mismo sexo. Los roedores *Chaetodipus spinatus* y *Dipodomys m. insularis* son encontrados más cerca de las madrigueras de las ratas canguro que los de *Peromyscus fraterculus* y dicho patrón de proximidad hacia las madrigueras es distinto entre hembras y machos de las ratas canguro. Por lo tanto, los resultados del presente estudio muestran que 1) la distribución de *D. m. insularis* responde a la heterogeneidad de su hábitat a nivel local, 2) el sexo y la edad influyen sobre el patrón de proximidad espacial entre madrigueras de las ratas canguro y 3) el patrón de distribución de los roedores alrededor de las madrigueras varía entre sexos de las ratas canguro. Este estudio provee información sobre la historia de vida y ecología de *D. m. insularis* la cual puede ser de utilidad en el desarrollo de programas para su conservación.

Palabras clave: comunidad de roedores, madrigueras, patrón de dispersión local, *Dipodomys merriami insularis*

Vo. Bo.



Dr. Sergio Ticul Álvarez Castañeda

ABSTRACT

The kangaroo rat of San José Island, *Dipodomys merriami insularis*, is considered an endangered species. However, little is known about the factors involved in its local distribution in order to develop a conservation programs. Therefore, this study is aimed at evaluating the factors influencing the distribution of burrows of *D. m. insularis* and their relationship to the spatial distribution of the rodent community on the island. The study was conducted in periods of March-May (MM) and October-November (ON), 2008. In an area of 78.9 hectares on San José Island, we carried capture-mark-recapture methods using Sherman traps. For all the rodents data was recorded which included reproductive status, weight, somatic measurements and the geographical coordinates of the site of capture and burrows of kangaroo rats. In addition, we characterized the surrounding vegetation. The number of *D. m. insularis* burrows increased with the diversity and abundance heterogeneity of vegetation. Also, the burrows had a greater proximity between neighbors of the opposite sex than same-sex, and the distance between opposite sex of adult neighbors was lower respect to the same sex. Rodents *Chaetodipus spinatus* and *Dipodomys m. insularis* are found closer to the burrows of kangaroo rats than those of *Peromyscus fraterculus* and the proximity to burrows pattern is different between females and males of kangaroo rats. Therefore, the results of this study show that 1) the distribution of *D. m. insularis* respond to habitat heterogeneity at the local level, 2) sex and age influence patterns of spatial proximity between burrows of kangaroo rats and 3) the distribution pattern of rodents around the burrows varies depending on the sexes of the kangaroo rats. This study provides information on the life history and ecology of *D. m. insularis* which may be useful in developing programs for their conservation.

Key words: rodent community, burrows, local dispersion pattern, *Dipodomys merriami insularis*

A Mar, mi esposa

A mis padres

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue realizado con el apoyo brindado en el proyecto SEMARNAT-2006-23423.

Al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP), por otorgar la beca JVP2007-1 que permitió la realización de mis estudios de doctorado.

Al director de mi tesis, el Dr. Sergio Ticul Álvarez Castañeda, por haberme brindado el apoyo y la oportunidad de realizar mi proyecto de investigación en su grupo de trabajo.

Al comité tutorial conformado por la Dra. Patricia Cortés, Dra. Eileen Lacey, Dr. Pedro Cruz y Dr. William Z. Lidicker, por sus comentarios siempre convenientes para el mejoramiento de mi formación.

Al laboratorio de vertebrados del CIBNOR, por ofrecer la infraestructura adecuada para el desarrollo de este estudio.

Al personal del laboratorio de botánica del CIBNOR y en particular al Sr. Miguel Salvador Domínguez León, por la ayuda en la identificación del material vegetal.

Al personal de Posgrado, Biblioteca y Cómputo, por su atención y apoyo durante la realización de mis estudios. Así mismo, al CIBNOR por recibirme para realización del doctorado.

A Aidee Tlapa Haro, María Luisa Rodríguez y Mayra De la Paz Cuevas por su valioso apoyo en el trabajo de campo.

A todos los amigos y compañeros que dieron vida a la estancia en la Paz, Miguelito, Yorsh, Ale, Vanessa, Nacho, Laura, Noé, Laurita, Noé, Bambino, Eve, Mayra, Mene, Horacio, Gaby, Romeo, Lalo, Pao, Scarry.

A mi esposa, por la fortuna de tener su apoyo, comprensión y compañía.

CONTENIDO

Resumen.....	i
Abstract.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Contenido.....	v
Lista de figuras.....	vii
Lista de tablas.....	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	5
2.1. Clasificación taxonómica.....	5
2.2 Características anatómicas.....	5
2.3 Distribución.....	6
2.4 Aspectos ecológicos y reproductivos.....	7
2.5 Madrigueras.....	9
2.6 <i>Dipodomys merriami insularis</i> y su relación con la comunidad de roedores.....	11
3. JUSTIFICACIÓN.....	14
4. OBJETIVO GENERAL.....	15
4.1 OBJETIVO PARTICULARES.....	15
5. HIPÓTESIS.....	16
Hipótesis 1.....	16
Hipótesis 2.....	16
Hipótesis 3.....	16
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
6.1 Área de estudio.....	17
6.2 Métodos.....	18
6.2.1 Trabajo de campo.....	18
6.2.2 Caracterización de la vegetación perenne del área donde fue encontrada la población de <i>Dipodomys merriami insularis</i>	20
6.2.3 Diseño del muestreo, captura y registro de datos de los roedores.....	22
6.2.4 Localización de las madrigueras de <i>Dipodomys merriami insularis</i>	24
6.3 Análisis de datos.....	26
6.3.1 Descripción de parámetros de la estructura poblacional de	

<i>Dipodomys merriami insularis</i>	26
6.3.2 Características de la vegetación en la zona de estudio y su relación con la distribución de las madriguera de <i>Dipodomys merriami insularis</i>	26
a) diversidad de especies.....	26
b) Índices de similitud.....	
c) Comparación de cobertura y altura vegetal entre cuadrantes..	28
6.3.3 Patrón de asociación entre las características de la vegetación y las madrigueras de <i>Dipodomys merriami insularis</i>	29
6.4 Evaluación de los factores que influyen el patrón de uso y proximidad espacial entre madrigueras de <i>Dipodomys merriami insularis</i>	30
6.5 Patrón de distribución espacial de la comunidad de roedores alrededor de las madrigueras de <i>Dipodomys merriami Insularis</i>	32
7. RESULTADOS	35
7.1 Descripción de parámetros de la estructura poblacional de <i>Dipodomys merriami insularis</i>	36
7.2 Características de la vegetación en la zona de estudio y su relación con la distribución de las madriguera de <i>Dipodomys merriami insularis</i>	37
7.3 Factores que influyen el patrón de uso y proximidad espacial entre madrigueras de <i>Dipodomys merriami insularis</i>	51
7.4 Patrón de distribución espacial de la comunidad de roedores alrededor de las madrigueras de <i>Dipodomys merriami insularis</i>	56
8. DISCUSIÓN	63
8.1 Descripción de parámetros de la estructura poblacional de <i>Dipodomys merriami insularis</i>	64
8.2 Características de la vegetación en la zona de estudio y su relación con la distribución de las madrigueras de <i>Dipodomys merriami insularis</i>	65
8.3. Factores que influyen el patrón de uso y proximidad espacial entre madrigueras de <i>Dipodomys merriami insularis</i>	69
8.4 Patrón de distribución espacial de la comunidad de roedores alrededor de las madrigueras de <i>Dipodomys merriami insularis</i>	74
9. CONCLUSIONES	81
10. LITERATURA CITADA	83
11. ANEXOS	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Individuo adulto de la rata canguro de la isla San José (<i>Dipodomys merriami insularis</i> ; Foto: S.T. Álvarez-Castañeda).....	5
Figura 2. En la izquierda, el recuadro muestra la localización de la isla San José en el Golfo de California, México. En la derecha, la línea continua muestra la distribución actual de <i>Dipodomys merriami insularis</i> según Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda (2006) y el recuadro, la localización del sitio de muestreo del presente estudio.....	7
Figura 3. Localización de los sitios de muestreo durante la primera visita de exploración a la Isla San José.....	19
Figura 4. Ubicación y distribución de los cuadrantes empleados para caracterizar la vegetación en el área donde se muestreó la población de <i>Dipodomys merriami insularis</i>	22
Figura 5. Distribución de transectos para la captura de individuos de <i>Dipodomys merriami insularis</i> . La línea blanca delimita la zona norte y sur donde se llevó a cabo el muestreo.....	22
Figura 6. Se muestra la entrada de una madriguera abierta (izquierda) y otra con la entrada tapada con arena (derecha). Asimismo, se puede observar el tipo de estacas empleadas para la identificación y marcaje de cada madriguera.....	25
Figura 7. Frecuencia de capturas para los individuos de <i>Dipodomys merriami insularis</i> , durante los períodos de marzo—mayo (izquierda) y octubre—noviembre (derecha) de 2008.....	37
Figura 8. Cobertura vegetal de las especies con altura menor a 2.5 metros, registrada para los 12 cuadrantes localizados en el área de muestreo de <i>Dipodomys merriami insularis</i> . Letras distintas denotan diferencias significativas al emplear un ANOVA.....	43
Figura 9. Altura promedio de la vegetación clasificada con la categoría menor a 2.5 metros, registrada para los 12 cuadrantes localizados en el área de muestreo de <i>Dipodomys merriami insularis</i> . Letras distintas denotan diferencias significativas al emplear un ANOVA.....	44
Figura 10. Cobertura vegetal de la vegetación con categoría menor a 2.5 metros, registrada para los 12 cuadrantes localizados en el área de muestreo de <i>Dipodomys merriami insularis</i> . Letras distintas denotan diferencias significativas al emplear la comparación múltiple de <i>Kruskal-Wallis</i>	44
Figura 11. Relaciones entre la riqueza de especies vegetales en la categoría de vegetación mayor a 2.5m y el número de madrigueras (a) y entre el índice de equidad de especies vegetales en la categoría de vegetación mayor a 2.5m y el número de madrigueras (b).....	50
Figura 12. Frecuencia de madrigueras que fueron identificadas para cada individuo de <i>Dipodomys merriami insularis</i> durante el muestreo de marzo a mayo (izquierda) y octubre a noviembre (derecha) de 2008...	51
Figura 13. Efecto de la clase de edad (izquierda) y el periodo de muestreo	

- (derecha) sobre el número de madrigueras usadas por los individuos de *Dipodomys merriami insularis*. Los períodos de muestreo se realizaron durante marzo-mayo y octubre-noviembre. Las letras diferentes significan que hubo diferencias significativas ($P < 0.05$).... 55
- Figura 14.** Comparación del promedio de la longitud de los testículos en machos adultos de *Dipodomys merriami insularis* capturados durante el período de muestreo de marzo a mayo y recapturados en el período de octubre-noviembre. Se empleó una *t-test* de medidas repetidas.... 58
- Figura 15.** Distancia más cercana entre las madrigueras de las ratas canguro y los sitios de captura de *Dipodomys merriami* (*D.m.*), *Chaetodipus spinatus* (*C.s.*), y *Peromyscus fraterculus* (*P.f.*) son comparados: a) Entre especies. b) Entre especies capturadas durante el periodo de marzo-mayo (círculos negros) y el de octubre-noviembre (cuadros blancos) y c) Entre especies capturadas cerca de las madrigueras de las hembras de las ratas canguro hembras (círculo negro) y los machos (cuadros blancos). $P < 0.05 = *$, $P < 0.001 = **$, $P < 0.0001 = ***$ 61

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Descripción de las capturas de individuos de <i>Dipodomys merriami insularis</i> obtenidas en los períodos de muestreo.....	35
Tabla II. Listado de especies vegetales encontradas en el área donde fueron muestreados los individuos de <i>Dipodomys merriami insularis</i>	38
Tabla III. Riqueza de especies vegetales encontradas en el hábitat de <i>Dipodomys merriami insularis</i> . Los números de la línea superior representan los cuadrantes muestreados.....	39
Tabla IV. Diversidad de especies para cada uno de los 12 cuadrantes donde se muestreo la vegetación en el presente estudio	41
Tabla V. Matriz de índices de similitud de especies vegetales entre los 12 cuadrantes muestreados en el hábitat de <i>Dipodomys merriami insularis</i>	42
Tabla VI. Especies de la vegetación leñosa encontrada alrededor de las madrigueras y sitios de captura de los individuos de <i>Dipodomys merriami insularis</i> . Los datos fueron obtenidos de 197 madrigueras y 319 sitios donde se capturaron las ratas canguro.....	46
Tabla VIIa. Estimaciones de la abundancia y valores de importancia de las especies de vegetación con una altura menor a 2.5 metros. Cob. Abs.: Cobertura absoluta en m ² . Cob.Rel.: Cobertura relativa. Frec.Abs.: Frecuencia absoluta. Frec.Rel.: Frecuencia relativa. V.I.: Valor de importancia.....	47
Tabla VIIb. Estimaciones de la abundancia y valor de importancia de las especies de vegetación con una altura mayor a los 2.5 metros. Cob.Abs.: Cobertura absoluta en m ² . Cob.Rel.: Cobertura relativa. Frec.Abs.: Frecuencia absoluta. Frec.Rel.: Frecuencia relativa. V.I.: Valor de importancia.....	48
Tabla VIII. Matriz de correlación entre las variables de los índices de diversidad de especies vegetales y la estructura vegetal (cobertura y altura) con el número de individuos y madrigueras encontrados en los cuadrantes de una hectárea donde fue muestreada la vegetación. <i>R</i> representa el factor de correlación entre las variables analizadas. *Las correlaciones fueron significativas a una $P < 0.05$	49
Tabla IX. Resumen del modelo lineal generalizado (con distribución de Poisson) calculado para examinar el efecto del sexo, la categoría de edad, período de muestreo y la frecuencia de capturas sobre el número de madrigueras usadas en <i>Dipodomys merriami insularis</i>	53
Tabla X. Promedio de la distancia del vecino más cercano entre pares de madrigueras para las categorías de hembras-hembras, machos-machos y hembras-machos, de todos los individuos capturados durante el período de marzo-mayo y octubre-noviembre. <i>n</i> tamaño de la muestra; EE, error estándar. Las letras diferentes en cada período de muestreo significa que hubo diferencias significativas (fue usada una prueba de <i>Dunn</i> para probar diferencias entre pares con una $P < 0.05$).....	55

Tabla XI. Resumen del modelo lineal generalizado (con distribución de Gamma) calculado para examinar el efecto del sexo, la categoría de edad y el período de muestreo sobre el índice de distancia (distancia entre pares de madrigueras de individuos del mismo sexo dividido por la distancia entre pares de madrigueras de individuos del sexo opuesto) para madrigueras de vecinos más cercanos en <i>Dipodomys merriami insularis</i>	55
Tabla XII. Número de individuos de <i>Dipodomys merriami</i> , <i>Chaetodipus spinatus</i> , <i>Peromyscus fraterculus</i> , y <i>Neotoma bryanti</i> capturados durante los periodos marzo–mayo y octubre –noviembre. La χ^2 compara la proporción de individuos reproductivos y juveniles entre los períodos de muestreo. $P < 0.05$. Los datos de <i>Neotoma bryanti</i> no fueron comparados estadísticamente.....	57
Tabla XIII. Resumen del modelo lineal generalizado (con distribución de Gamma) calculado para examinar el efecto de las especies, el período de muestreo y el sexo de las ratas canguro sobre la distancia entre la localización de la madriguera principal de <i>Dipodomys merriami insularis</i> y los sitios de captura de individuos de <i>Dipodomys merriami insularis</i> , <i>Chaetodipus spinatus</i> y <i>Peromyscus fraterculus</i>	60

1. INTRODUCCIÓN

Las islas oceánicas son consideradas de manera individual con baja diversidad biológica, sin embargo, en conjunto tienen una diversidad por unidad de área más alta a la registrada en zonas continentales (Alcover *et al.*, 1998). Tal diversidad se debe a que muchas especies encontradas en las islas son distintas a las de zonas continentales, ejemplo de ello se encuentra en el grupo de los mamíferos no voladores donde varias de las especies son endémicas a las islas (Alcover *et al.*, 1998).

La amplia diversidad encontrada en las islas refleja el importante rol que desempeñan las islas en mantener la diversidad biológica. Sin embargo, en la actualidad la supervivencia y permanencia de las especies insulares es poco prometedora debido a que la extirpación de varias especies de mamíferos insulares endémicos está asociada a la llegada de los humanos y su fauna doméstica (Alcover *et al.*, 1998). Por lo tanto, se ha generado la necesidad de realizar esfuerzos para mantener la fauna de las islas y una de las estrategias es el conocimiento biológico y monitoreo de las poblaciones de las especies de interés.

La región del Golfo de California constituye un área de gran diversidad y endemidad de mamíferos terrestres en México (Álvarez-Castañeda y Patton, 1999). La razón aparente es la presencia de un amplio número de zonas insulares en la región cuyas áreas restringen la distribución de varias especies y subespecies (Álvarez-Castañeda y Ortega-Rubio, 2003). Desafortunadamente, un elevado número de especies están consideradas como cercanas a la extinción, debido a la introducción de especies no nativas, en particular el gato doméstico (Álvarez-Castañeda y Ortega-Rubio, 2003).

Una subespecie que es afectada por la problemática antes descrita, es la rata canguro de la isla San José (*Dipodomys merriami insularis* Merriam, 1907). Aunque antes había sido considerada como especie (*D. insularis* Best y Thomas, 1991), estudios moleculares han re planteado su situación taxonómica por lo que en la actualidad es considerada como una subespecie de *Dipodomys merriami* (Álvarez-Castañeda *et al.*, 2009).

La especie *D. merriami* ocurre ampliamente en la Península de Baja California, habitando todas las áreas desérticas de tierras bajas y arenosas así como, isla Margarita en el Pacífico y San José en el Golfo de California (Álvarez-Castañeda *et al.*, 2009). La

población endémica de isla San José es *D. m. insularis*. Esta isla es la tercera más grande en el Golfo de California, con 194 km², después de la isla Tiburón y Ángel de la Guarda (Lawlor *et al.*, 2002).

La población de *D. m. insularis* se ha considerado como al borde de su extinción o muy rara debido a que los muestreos realizados a lo largo de 15 años, por el poco número de ejemplares encontrados (Álvarez-Castañeda y Ortega-Rubio, 2003). Los estudios más recientes indican que los individuos de esta subespecie tiene una distribución restringida, hacia el suroeste de la isla San José (Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006).

La población de *D. m. insularis* se encuentra considerada con el estatus de “en peligro de extinción” por el gobierno mexicano (Norma Oficial Mexicana, 2010) o “peligro crítico” por un organismo internacional (IUCN, International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 2009). Por lo tanto, es urgente obtener información de esta subespecie que permita el desarrollo de programas para su conservación.

Los estudios sobre la organización espacial de las ratas canguro a nivel local han permitido obtener información de gran utilidad en el desarrollo de programas para su conservación. Debido a que diversos factores regulan la organización espacial de las ratas canguro, su estudio puede proveer información sobre los patrones de selección de hábitat, interacción entre individuos de una misma especie y coexistencia con otras especies (Behrends *et al.*, 1986; Bowers, 1982; Bowers y Brown, 1992), e incluso predecir patrones de su organización social (Behrends *et al.*, 1986).

La organización espacial local de las ratas canguro está influenciada por factores ambientales (suelo y vegetación perenne) y conductuales; las características del suelo y vegetación son importantes debido a que producen parches en la estructura tridimensional del hábitat (O’Farell, 1980; Reichman y Price, 1993) e influyen en variaciones en el riesgo de depredación, tasa de pérdida de calor causado por la radiación y la agregación de semillas disponibles para los individuos (Reichman y Price, 1993). Por ello es de suponer que la distribución a nivel local de las ratas canguro estará asociada a áreas donde obtienen una mayor ganancia para su adecuación, respondiendo de manera diferencial a la heterogeneidad del hábitat.

Dentro de los factores conductuales, el nivel de socialización de las ratas canguro influye sobre su organización espacial debido a las variaciones en la frecuencia de contactos entre conspecíficos. Las especies grandes como *Dipodomys spectabilis*, *D. deserti* y *D. ingens* son altamente territoriales, con poca superposición de sus ámbitos hogareños, mientras que las especies de talla pequeña como *D. merriami* y *D. ordii* son más sociales y sus ámbitos hogareños muestran elevada superposición (Randall, 1993). Dentro de una misma especie, el sexo de los individuos influye sobre la organización espacial de los individuos (Randall, 1993).

Observaciones en la organización espacial de *D. merriami* y *D. heermanni* han evidenciado una amplia superposición de ámbitos hogareños entre hembras y machos, entre pares de machos, mientras que solamente una ligera superposición entre pares de hembras (Behrends *et al.*, 1986; Jones, 1989; Shier y Randall, 2004). El incremento en la actividad reproductiva y la dispersión es otro factor que modifica los patrones de organización espacial (e. g. *D. spectabilis*, *D. deserti* y *D. ingens*, Randall *et al.*, 2002). En el caso de *D. merriami* y *D. ordii* existe una disminución en la superposición entre ámbitos hogareños en los períodos de baja actividad reproductiva, mientras que hay un incremento cuando los individuos se dispersan (Randall, 1989; 1991).

Es de esperarse que *D. m. insularis* presente patrones de organización espacial similares a los antes descritos, esto es, un patrón de mayor superposición de ámbitos hogareños entre hembras y machos e influenciado por la actividad reproductiva. Sin embargo, existen evidencias de que las áreas insulares tienen el potencial para cambiar diversas características de los individuos como resultado de la vida en áreas relativamente pequeñas a las continentales, restricción de movimiento o migración y al aislamiento geográfico de la zona continental (Adler y Levins, 1994). Tales cambios parecen ser resultado de la liberación ecológica de competidores heteroespecíficos y depredadores que a menudo no son encontrados en las islas (Adler y Levins, 1994). En la isla San José, hay otros roedores como *Chaetodipus spinatus*, *Peromyscus fraterculus* y *N. bryanti* que podrían ser potenciales competidores para *D. m. insularis* (Best y Thomas, 1991; Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2007). Adicional a esto, en la isla hay depredadores nativos como es *Bassariscus astutus* (Rodríguez-Estrella *et al.*, 2000), las serpientes *Crotalus*

mitchelli, *C. enyo*, *C. ruber*, *Pituofis melanoleucus* y *P. vertebralis* (Best y Thomas, 1991; Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006), así como algunas aves rapaces (*Falco sp.* y *Buteo sp.*). Por lo tanto, se desconoce cómo el aislamiento puede influir la organización espacial a nivel local de los individuos de *D. m. insularis*.

Para entender cómo está organizada espacialmente una población de ratas canguro, se ha propuesto como una aproximación, el análisis de la distribución local de sus madrigueras. Dicha aproximación se basa en que los individuos son solitarios y cada individuo adulto emplea un sistema de madrigueras (Reynolds, 1958; Daly *et al.*, 1992). Además, las madrigueras son empleadas para protección de depredadores y condiciones adversas, así como para su reproducción y almacenamiento de su alimento (Reichman y Smith, 1990). Las madrigueras son los sitios que estrictamente defienden de los conspecíficos y heterospecíficos de las ratas canguro contra el hurto de su alimento almacenado (Leaver y Daly, 2001). Otra razón es que las áreas alrededor o dentro de sus madrigueras son los centros de actividad de sus ámbitos hogareños y sitios donde los individuos invierten hasta un 75 % de sus vidas (Reynolds, 1958). Por lo tanto, una aproximación para entender cómo se encuentra la organización espacial intra-específica e inter-específica en *D. m. insularis* puede ser por medio de analizar la distribución espacial de sus madrigueras a nivel local.

El presente estudio tiene la finalidad de obtener información sobre los factores que regulan la distribución de las madrigueras de *D. m. insularis* y su relación con la distribución espacial alrededor de las madrigueras de la comunidad de roedores en la isla San José.

2. ANTECEDENTES

2.1. Clasificación taxonómica

La rata canguro de la isla San José *Dipodomys merriami insularis*, Merriam 1907 pertenece a la familia Heteromyidae, sub familia Dipodomysinae. Esta subespecie había sido considerada como una especie diferenciada de un ancestro habitando la península de Baja California (Best y Thomas, 1991). Las características morfológicas sugerían una diferenciación entre *D. insularis* de *D. merriami* (Best y Thomas, 1991). La población insular tiene la apariencia robusta, una forma de la bula más pequeña que las razas encontradas en la península y orejas grandes. Dichas características contrastan con las subespecies geográficamente más próximas a la isla, como es el caso de *D. m. brunensis*, y que a su vez no permitían asumir su integración a *D. merriami* (Huey, 1951).

Estudios que han evaluado la distancia genética, empleando aloenzimas (Best y Janecek, 1992) y DNA mitocondrial, han encontrado que las distancias genéticas son suficientes para considerar a los miembros de la población insular como una subespecie de *D. merriami* (Álvarez-Castañeda *et al.*, 2009).

2.2 Características anatómicas

Los individuos de *D. m. insularis*, de acuerdo con Merriam (1907), son de color anaranjado amarillento pálido con sólo algunas líneas tenues de pelos negros, con un parche negro tenuemente desarrollado en la nariz y los bigotes (Patton y Álvarez-Castañeda, 1999). El color de fondo de los flancos y la grupa es anaranjado amarillento con un tinte vinoso (Fig. 1).



Figura 1. Individuo adulto de la rata canguro de la isla San José (*Dipodomys merriami insularis*; Foto: S.T. Álvarez-Castañeda).

Dipodomys merriami insularis contiene a los organismos considerados entre los más pequeños de las ratas canguro (Best y Thomas, 1991). Las medidas corporales (mm) del holotipo de esta subespecie son: longitud total, 243; longitud de la cola, 143; longitud de la pata trasera, 39; longitud mayor del cráneo, 36.0; anchura a través de las bulas, 22.7; longitud de los nasales, 13.2; anchura a través de los arcos maxilares, 12.3; anchura interorbital, 13.0; longitud del rostro, 20.1; longitud de la línea de dientes maxilares, 4.4 y profundidad del cráneo, 10.5 (Williams *et al.*, 1993). Las medias corporales de *D. m. insularis* muestran un dimorfismo entre los sexos, siendo los machos más grandes que las hembras (Lidicker, 1960; Best, 1991).

2.3. Distribución

La distribución de *D. m. insularis* es restringida a la isla San José, en el Golfo de California (Fig. 2; Hall, 1981). La distribución dentro de la isla es hacia el sureste y suroeste de la isla (Huey, 1951; Lidicker, 1960). Las características geográficas de la isla aparentemente no permiten una distribución más amplia, debido a que la isla está cubierta

por colinas y pequeñas montañas alcanzando elevaciones de hasta > 600 metros (Best y Thomas, 1991). La costa es rocosa y las pendientes de las montañas inician desde el mar, sólo en la región sur y oeste de la isla, las colinas son bajas y la costa es bordeada por una playa arenosa que ocurre en varios puntos, donde se han hecho los registros de *D. m. insularis* (Best y Thomas, 1991). Estudios recientes evidencian que la distribución actual de *D. m. insularis* es de alrededor de 30 km^2 y restringida al suroeste de la isla (Fig. 2; Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006).

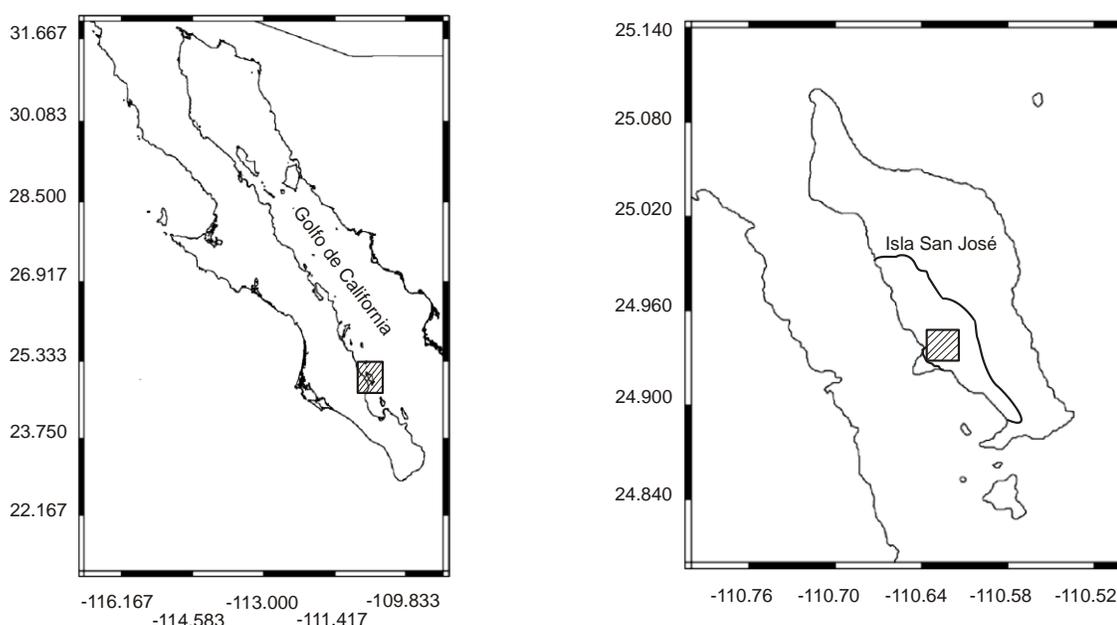


Figura 2. En la izquierda, el recuadro muestra la localización de la isla San José en el Golfo de California, México. En la derecha, la línea continua muestra la distribución actual de *Dipodomys merriami insularis* según Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda (2006) y el recuadro, la localización del sitio de muestreo del presente estudio.

2.4. Aspectos ecológicos y reproductivos

Aunque no se han realizado estudios sobre la densidad de *D. m. insularis*, estudios sobre su distribución han evidenciado que tiene una abundancia relativa menor que *Chaetodipus spinatus* y mayor a la de *Peromyscus fraterculus* y *Neotoma bryanti* (Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda). La densidad de *D. m. insularis* es considerada que es comparable a la de poblaciones continentales de la misma especie (Espinosa-

Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006). En la zona continental, como el desierto de Mojave y desierto de Colorado, *D. merriami* llega a tener densidades de 0.3 a 3.7 individuos por hectárea (Chew and Butterworth 1964) e incluso hasta 18.5 individuos por hectárea (Christopher 1973). Dicha densidad varía con la temporada climática por lo que sitios donde han encontrado 13 individuos por hectárea en primavera han llegado a encontrar hasta 19 individuos por hectárea en el otoño (Soholt, 1973).

Respecto al ámbito hogareño de *D. m. insularis*, se desconoce aún. Pero en otras poblaciones de *D. merriami*, el ámbito hogareño va de 0.2 a 0.5 hectáreas (Behrends *et al.* 1986), 0.49 a 0.65 hectáreas (O'Farrell, 1978) y de 0.2 a 0.7 hectáreas (Jones, 1989). En algunas poblaciones, el tamaño del ámbito hogareño de los machos suele ser más grande al de las hembras (Jones, 1989; O'Farrell, 1978), pero dichas diferencias no siempre son encontradas en todas las poblaciones (Behrends *et al.* 1986). Además, el tamaño del ámbito hogareño puede variar a lo largo del año (O'Farrell, 1978; O'Farrell, 1980).

En cuanto a la dieta de *D. m. insularis* se desconoce pero se sabe que individuos de esta misma especie distribuidos en zonas continentales se alimentan casi exclusivamente de semillas (Reichman y Price, 1993; Reynolds, 1958). Las semillas que consumen son obtenidas de arbustos, herbáceas, pastos y plantas suculentas (Reynolds, 1958). Adicional a las semillas, las ratas canguro complementan su dieta con vegetación e incluso algunos insectos dependiendo la disponibilidad (Tracy y Walsberg, 2002).

Con relación a la actividad reproductiva de *D. m. insularis*, las capturas de dos individuos sub adultos hacia finales de Mayo sugieren que el nacimiento de las crías ocurre en los meses entre febrero y marzo (Best y Thomas, 1991). Además, la presencia de un macho adulto con testículos descendidos al escroto (Best y Thomas, 1991) indica que la actividad reproductiva puede extenderse desde febrero hasta mayo.

Los aspectos referentes al número de camadas por temporada reproductiva, el número de crías por camadas y la ontogenia de *D. m. insularis* se desconocen. Sin embargo, en otras poblaciones de *D. merriami*, se ha encontrado que debido la presencia de lluvias, poco predecibles en el desierto, el periodo reproductivo puede variar por presentar una reproducción flexible y oportunista (Randall, 1993). Asimismo, la gran mayoría de los heterómidos son poliestros y muchas especies de ratas canguro se pueden reproducir en

cualquier periodo del año (Randall, 1993). Los machos tienen un comportamiento de competencia, al tratar de conseguir pareja, mientras que las hembras muestran una conducta territorial, la cual disminuye en la época de reproducción, permitiendo la presencia cercana de los machos (Whitford, 1976).

En cuanto al número de camadas que produce *D. merriami*, tiene un intervalo entre dos y tres crías por camada (Cortés-Calva, 1997; Daly *et al.*, 1984). Las crías de *D. merriami* nacen ciegas y desprovistas de pelo (Reynolds, 1958). Inician a consumir alimentos sólidos a partir del día 11 a pesar de que pueden continuar amamantándose hasta la tercera semana de edad (Reynolds, 1958). La talla máxima de las crías es alcanzada hasta el quinto mes de vida (Reynolds, 1958). Las crías inician a ser capturadas por la tercera o cuarta semana de edad y algunas a la primera o segunda semana después de ser destetadas (Reynolds, 1958). Los individuos de las nuevas generaciones pueden reproducirse antes de alcanzar la completa madurez (Reynolds, 1958).

2.5. Madrigueras

Las características de las madrigueras de *D. m. insularis* y el número que puede poseer cada individuo se desconoce, pero parecen tener características similares a las de otras poblaciones de *D. merriami* (Best y Thomas, 1991). Las madrigueras de *D. merriami* a menudo son una construcción simple con una serie de túneles bajo el suelo interconectados con una o más aperturas superficiales (Reynolds, 1958, Daly *et al.*, 1992). Las que son poco conspicuas y elaboradas comparado a especies como *D. spectabilis* (Monson y Kessler, 1940; Reynolds, 1958). La longitud de la madriguera principal es en promedio de 4.5 m, una madriguera sub principal de 3.0 m en longitud, dos madrigueras de escape de 76 cm. El diámetro es de 7.6 cm en promedio (Reynolds, 1958).

Cada individuo adulto de las ratas canguro emplea un sistema de madrigueras y llega a tener de una a tres madrigueras (Behrends *et al.*, 1986; Jones 1984). Las madrigueras son empleadas para protección de depredadores y condiciones adversas, así como para la reproducción y el almacenamiento de alimento (Reichman y Smith, 1990).

La vegetación parece ser uno de los factores más importantes que podrían influir sobre la distribución de las madrigueras de *D. m. insularis*, tal como lo demuestra la

asociación entre los sitios de sus capturas y el tipo de vegetación. Los sitios donde se han capturado los individuos de esta subespecie se caracterizan por una vegetación baja (Best y Thomas, 1991; Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006) y con una cobertura de vegetación del 17 % al 21 % (Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda 2006) o hasta del 65 % (Best y Thomas, 1991). Además, las madrigueras de *D. m. insularis* parecen estar asociada a árboles de *Bursera microphylla* con suelos de guijarros no mayores a 0.5 cm de diámetro y una cubierta arenosa de grano pequeño (Espinosa-Galoso y Álvarez-Castañeda, 2006).

Las plantas dominantes en las zonas donde se ha capturado a *D. m. insularis* incluyen palo andan (*Fouquieria diguetii*), lomboy (*Jatropha cinerea*), cardón (*Pachycereus pringlei*), copal (*Bursera hinsidiana*), torote (*Bursera microphylla*), jojoba (*Simmondsia chinensis*), palo verde (*Cercidium peninsulare*), pitahaya agria (*Stenocerus gummosus*) y ciruelo de monte (*Cyrtocarpa edulis*). Asimismo, áreas donde hay alta densidad de pitahaya agria (*Opuntia cholla*) aparentemente no son óptimas para encontrar a los individuos de *D. m. insularis*, por lo que podría estar restringiendo su distribución (Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006).

Asociaciones entre la localización de las madrigueras y la vegetación han sido observadas en otras poblaciones de *D. merriami* donde hasta el 90 % de éstas se han encontrado cerca o debajo de algún arbusto y sólo un bajo porcentaje en sitios abiertos sin protección (Reynolds, 1958). En otras especies de ratas canguro como *D. spectabilis*, las madrigueras además de estar concentradas a hábitats convenientes, hay agregaciones que parecen estar en áreas de concentración local de recursos. Eso crea una estructura espacial jerárquica de parches dentro de parches, pero además una heterogeneidad en la distribución de las madrigueras (Amarasekare, 1984).

Los individuos adultos de *D. merriami* generalmente son solitarios y con baja tolerancia, por lo que defienden territorios o al menos sus madrigueras (Jones, 1993). Dicha tolerancia va a influir la proximidad espacial entre los individuos, lo cual es reflejado en el grado de superposición de sus ámbitos hogareños. Cada individuo a menudo tolera no más de un 45 % de superposición (Jones, 1989; O'Farrell, 1980). Los machos a menudo pueden superponer sus ámbitos hogareños sobre el de otros machos y sobre el de una o varias

hembras; mientras que las hembras superponen sus ámbitos hogareños al de los machos, pero sólo ligeramente al de otras hembras (Behrends *et al.*, 1986; Jones, 1989). Asimismo, en el período reproductivo se han observado modificaciones en la relación espacial entre individuos como consecuencia de que las hembras incrementan la tolerancia de los machos vecinos cerca de sus madrigueras con propósitos reproductivos y a su vez menor tolerancia entre los machos (Randall, 1987, 1993). La actividad reproductiva es, así, responsable de las diferencias entre sexos en la magnitud de superposición de sus ámbitos hogareños. Esto es, durante la estación reproductiva, los machos son menos tolerantes a la invasión de otros machos y superponer con mayor magnitud sus ámbitos hogareños al de las hembras (O'Farrell, 1980).

Se ha observado que los patrones de superposición de ámbitos hogareños son reflejados en el patrón de proximidad entre las madrigueras de *D. merriami*. En este sentido se ha encontrado una mayor proximidad entre madrigueras de individuos del sexo opuesto que entre el mismo sexo cuando hay una elevada superposición de ámbitos hogareños entre individuos del sexo opuesto (Behrends *et al.*, 1986). Durante la estación reproductiva, cuando los machos superponen sus ámbitos hogareños con mayor magnitud al de las hembras, los machos tienen un patrón de la ubicación del centro de actividad de sus ámbitos hogareños más errático que las hembras. Esas observaciones evidencian que los machos emplean con elevada frecuencia más de una madriguera durante la estación reproductiva, modificando así la relación espacial entre los individuos (Behrends *et al.*, 1986).

2.6 *Dipodomys merriami insularis* y su relación con la comunidad de roedores

Los individuos de *D. m. insularis* han sido capturados junto con otros roedores nativos de la isla San José como son *Chaetodipus spinatus bryanti*, *Peromyscus fraterculus cinereus* y *Neotoma bryanti bryanti*. En sitios donde se ha capturado a la rata canguro ha coincidido con la ausencia de roedores simpátricos como *P. fraterculus* y *N. lepida* (Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006). Las observaciones de la ausencia de *D. m. insularis* en sitios con características óptimas de su micro-hábitat parecen contrastar con la presencia del ratón espinoso *C. spinatus*. En los sitios donde coexisten ambas especies, las

abundancias de *C. spinatus* son generalmente mayores a las de *D. m. insularis*, por lo que una probable competencia podría esperarse entre ambas especies, lo cual aún no ha sido puesto a prueba (Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006). Se ha argumentado que los estudios realizados han sido dirigidos a registrar la distribución de la rata canguro en hábitats óptimos para *D. m. insularis*, por lo que los resultados no reflejan posibles relaciones antagonistas entre estas especies.

En general, las ratas canguro, por tener una locomoción bípeda y hábitos cavadores, están ausentes en suelos extremadamente rocosos donde los heterómidos cuadrúpedos (*Chaetodipus*) y múridos (*Peromyscus* y *Neotoma*) son a menudo abundantes (Rozenweig *et al.*, 1975). En lugares donde las ratas canguro coexisten con otros roedores, los hábitos de las ratas canguro pueden influir sobre la organización espacial de aquellas especies de roedores (Brown y Harney, 1993). Sin embargo, los hábitos de las ratas canguro son a menudo diferentes entre sexos y cambia con la actividad reproductiva lo cual podría afectar diferencialmente la distribución espacial de la comunidad de roedores.

La ubicación de las madrigueras ha sido considerada que causa heterogeneidad en la distribución de los roedores debido a que las actividades cavadoras de las ratas canguro causan disturbios sobre el suelo y la estructura de la comunidad de plantas (Brock y Kelt, 2004). Alrededor de las madrigueras, hay fuertes interacciones de las ratas canguro con otros roedores de quienes defienden sus madrigueras contra especies simpátricas y conspecíficos para prevenir el hurto de sus reservas de semillas (Leaver y Daly, 2001). La especie que hurtan las reservas de las ratas canguro son otras ratas canguro, el ratón de abazones y roedores cricétidos (Daly *et al.* 1992). Esto sugiere que la proximidad de los roedores de la comunidad a las madrigueras de las ratas canguro puede mostrar patrones de su distribución espacial.

Adicional a esto, se ha encontrado que en entre sexos *D. merriami* parece haber diferencias en la tolerancia hacia otros individuos. Tal aseveración, tal como se describió anteriormente, es sugerida por la extensiva superposición de ámbitos hogareños, la cual es diferencial entre sexos (Behrends *et al.*, 1986; Jones, 1989; O'Farell 1980; Reynolds, 1960). Por esta razón se puede esperar menos interacciones alrededor de las madrigueras de las hembras, debido a que las hembras deben criar a sus crías e invierten mucho de su

tiempo en el nido, al menos, hasta que las crías abren los ojos e inician a ingerir alimento sólido (Behrends, 1984; Reynolds, 1960). Otras diferencias entre hembras y machos de las ratas canguro son encontradas en la conducta de almacenamiento de alimento. Los machos de *D. merriami* a menudo exhiben un almacenamiento de alimentos de forma dispersa mientras que en las hembras es acumulado, lo cual varía estacionalmente con la estación reproductiva (Jenkins, 2011). El almacenamiento de semillas acumulado se ha considerado que es un blanco atractivo de hurto pero defendible por el propietario, mientras que el almacenamiento disperso reduce las posibilidades de que sea hurtado en su totalidad (Vander Wall y Jenkins, 2003). Tales características podrían afectar diferencialmente la distribución de la comunidad de roedores. Por lo tanto, el conocimiento de la proximidad espacial de las madrigueras de las ratas canguro y los roedores simpátricos de otras especies, especialmente relacionados al sexo y estado reproductivo de las ratas canguro, puede ayudar a entender el rol que cada sexo de las ratas canguro juega sobre la distribución espacial de la comunidad de roedores del desierto.

3. JUSTIFICACIÓN

Las ratas canguro son una de las principales especies de roedores granívoros del desierto en Norteamérica (Randall, 1993), lo que les permite subsistir y distribuir semillas de un amplio intervalo de especies de plantas (Reynolds, 1958). Todas las especies de ratas canguro excavan por lo que han sido consideradas como individuos que inducen heterogeneidad en la estructura del hábitat, además de ser depredadas por una amplia diversidad de depredadores que incluyen al búho cornudo (*Bubo virginianus*), serpientes (*Crotalus* sp.), aves (*Lanius ludovicianus*), coyotes (*Canis latrans*), y babisuris (*Bassariscus astutus*) (Behrends *et al.*, 1986; Rodríguez-Estrella *et al.*, 2000).

Recientemente, la población de rata canguro encontrada en la isla San José, en el Golfo de California, fue incluida como una subespecie de *D. merriami* (*D. m. insularis*; Álvarez-Castañeda *et al.*, 2009). *D. m. insularis*, es considerada como una subespecie amenazada por el gobierno mexicano (Norma Oficial Mexicana, 2010) y como en “peligro crítico” por la IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 2009). Información reciente sugiere que *D. m. insularis* es restringida a un área de tan sólo 30 km², en el lado suroeste de la isla San José.

Por el número de capturas que se han obtenido durante sus muestreos se considera que la población de *D. m. insularis* había tenido una drástica reducción, por lo que se consideraba como cercana a la extinción (Álvarez-Castañeda y Ortega Rubio, 2003, Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006). A pesar del interés generado por el estatus de conservación de esta subespecie. La información sobre su distribución y relación con la organización espacial de la comunidad de roedores, lo cual es de importancia para el desarrollo apropiado de planes para su conservación (Caro, 1998), permanece aún desconocida. Por lo tanto, es de urgencia obtener información que además de proveer con bases para los programas para su conservación, brinde la oportunidad para entender el funcionamiento a las ratas canguro en situaciones de insularidad.

4. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los factores que influyen sobre la distribución local de madrigueras de *Dipodomys merriami insularis* y su relación con la organización espacial de la comunidad de roedores en la isla San José.

4.1 OBJETIVO PARTICULARES

1. Caracterizar el patrón de distribución espacial y uso de madrigueras en la población de *D. m. insularis*.
2. Evaluar cómo influye la estructura de la vegetación sobre la distribución espacial de las madrigueras de *D. m. insularis*.
3. Evaluar cómo influye la edad, el sexo y la estacionalidad sobre el patrón de relación espacial entre individuos de *D. m. insularis*.
4. Evaluar la relación entre la distribución de las madrigueras de las ratas canguro y la de la comunidad de roedores.

5. HIPÓTESIS

Hipótesis 1.

Si la distribución de *Dipodomys merriami insularis* varía en relación a la heterogeneidad del hábitat, entonces el número de madrigueras será distinto entre sitios con diferente estructura y diversidad de vegetación.

Hipótesis 2.

Si la proximidad espacial entre individuos está influenciada por el sexo y la actividad reproductiva, entonces se espera un patrón de proximidad distinto entre las madrigueras de los vecinos del sexo opuesto y del mismo sexo.

Hipótesis 3.

Si el sexo de las ratas canguro influye sobre la distribución de los roedores alrededor de sus madrigueras entonces la proximidad espacial entre sitios de captura y madrigueras será diferente entre sexos y períodos de muestreo.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Área de estudio

La Isla San José es un Área Natural Protegida que fue decretada en 1978 (Diario Oficial de la Federación, 1978). Está localizada en el Golfo de California, México a 24° 52' - 25° 06' N; 110° 43' - 110° 35' W. Presenta una geografía accidentada con elevaciones que van de 0 a 633 m y una extensión territorial de 194 km². La actividad humana es de nivel intermedio con campamentos de pescadores y ecoturismo (Álvarez-Castañeda *et al.*, 2006). En la parte norte de la isla existen algunos ranchos donde se ocupan del pastoreo de cabras y en la parte suroeste hay una salina donde las actividades son centradas a la extracción de sal (Maya y Guzmán, 1998, Álvarez-Castañeda *et al.*, 2006).

El clima es árido seco con una temperatura media anual entre 21-23° C, con una media de lluvia anual entre 100-150 mm y una precipitación concentrada durante el verano (Cody *et al.*, 1983). Tres épocas climáticas son reportadas para la zona, una de marzo a junio, que corresponde al período seco y las otras dos épocas, una de julio a octubre y la otra de noviembre a febrero, que corresponden a los dos períodos de lluvias (Salinas-Zavala *et al.*, 1990).

Hacia la costa suroeste de la isla San José se encuentra el área de distribución de la población de *D. insularis* (Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006). Dentro de esta área, se llevó a cabo el presente estudio. El área de muestreo comprendió una extensión territorial de 79.8 hectáreas (798,073 m²), ubicada en las coordenadas geográficas 24° 55' 03'' - 110° 37' 40'' W (Fig. 2).

La vegetación de la isla San José, mantiene características similares a las que han sido descritas para las islas de Baja California Sur y a la que hay adyacente a lo largo de la península. La vegetación es del tipo desierto Sonorense. Entre las especies más comunes de su flora están chollas (*Opuntia* spp.), torote (*Bursera microphylla*), chamizos (*Atriplex* spp.), mezquites (*Prosopis* spp.), cardones (*Pachycerus pringley*) y palo verde (*Cercidium microphyllum*). La isla San José presenta áreas de manglar en esteros y bahías protegidas (Maya y Guzmán, 1998). Respecto a la fauna de la isla San José, se citan 21 especies de reptiles, 17 especies de aves y siete especies de mamíferos (Maya y Guzmán, 1998;

Álvarez-Castañeda *et al.*, 2006). También existe la presencia de mamíferos exóticos que incluyen burros, cabras y gatos (Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006).

6.2 Métodos

6.2.1 Trabajo de campo

El presente estudio fue realizado con ratas canguro en condiciones silvestres. El trabajo de campo tuvo como finalidad obtener datos de las características de vegetación, la ubicación espacial de los sitios de captura para todos los roedores y de las madrigueras, en el caso de *D. m. insularis*.

El trabajo de campo incluyó tres períodos de muestreo durante el 2008. El primero del tipo exploratorio (se efectuó del 12-16 de febrero, cuatro noches) el cual tuvo como finalidad el localizar una colonia de ratas canguro para elegir donde se llevaría a cabo el presente estudio. Durante la primera visita a la isla San José, se muestrearon dos sitios que estuvieron separados por tres km (Fig. 3). Los sitios para realizar los muestreos se eligieron tomando en consideración el estudio de Espinosa-Gallosso y Álvarez-Castañeda (2006), siendo la localidad punta arena y la localidad salina sur.

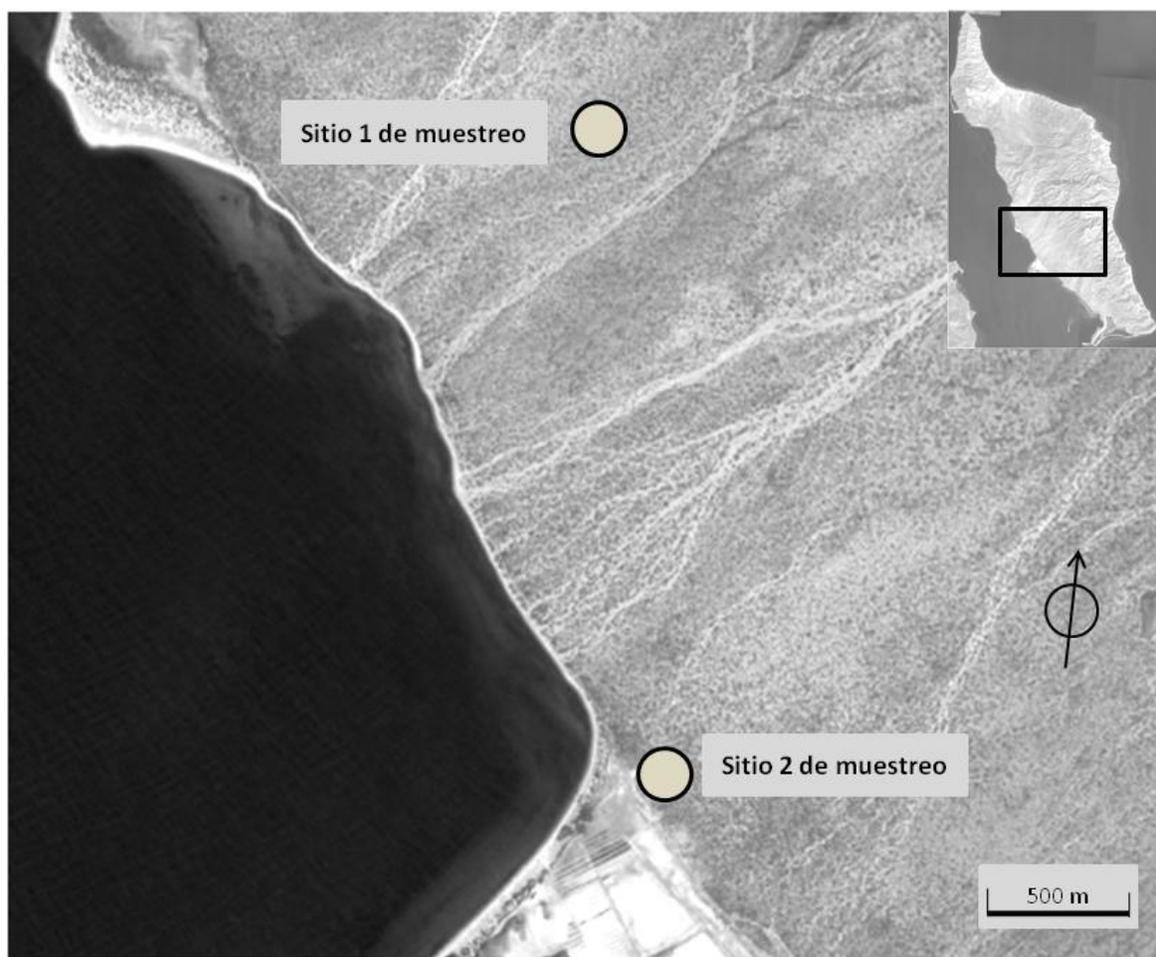


Figura 3. Localización de los sitios de muestreo durante la primera visita de exploración a la Isla San José.

En los dos muestreos posteriores, se eligió sólo la localidad de salina sur (el sitio 2) debido a que se obtuvo el mayor número de capturas de ratas canguro. El muestro sistemático del presente estudio fue efectuado del 16 de marzo al 15 de mayo (período denominado MM) y del 16 de octubre al 21 de noviembre de 2008 (período ON). Los períodos de muestreo incluyeron a las épocas de secas y lluvias representativas para la zona (Salinas-Zavala *et al.*, 1990). Las actividades que se realizaron en el trabajo de campo se describen a continuación.

6.2.2 Caracterización de la vegetación perenne del área donde fue encontrada la población de *Dipodomys merriami insularis*

La descripción de la vegetación incluyó a especies perennes como herbáceas, arbustos y árboles. Con la finalidad de analizar la cobertura vegetal de las especies y formas de vida se procedió a hacer una clasificación de la vegetación presente de acuerdo a dos categorías, 1) Vegetación menor a 2.5 m de altura y 2) Vegetación mayor a 2.5 m de altura. Dicha clasificación tuvo el propósito de caracterizar la vegetación en sus formas de arbustos (la categoría 1) y árboles (categoría 2).

La vegetación fue descrita en 12 cuadrantes de una hectárea (100 x 100 m). En cada hectárea se establecieron tres transectos a una distancia promedio de 100 m, distribuidos de manera homogénea en toda la zona donde se llevó a cabo el muestreo de los roedores; mientras que la distancia promedio entre cuadrante fue de 200 m (Fig. 4). Los cuadrantes estuvieron distribuidos en tres conjuntos de cuatro cuadrantes alineados.

Con la finalidad de evaluar la vegetación mayor a 2.5 m de altura en cada cuadrante se delimitaron 12 cuadrantes de 10 x 10 m, los cuales fueron distribuidos de manera homogénea dentro de cada cuadrante de una hectárea. Para evaluar la vegetación menor a 2.5 m, se delimitó un cuadrante de 5 x 5 m dentro de cada cuadrante de 10 x 10 m (Fig. 4). En cada caso, se muestreó sólo la vegetación que tuvo el tallo o tronco dentro de los cuadrantes.

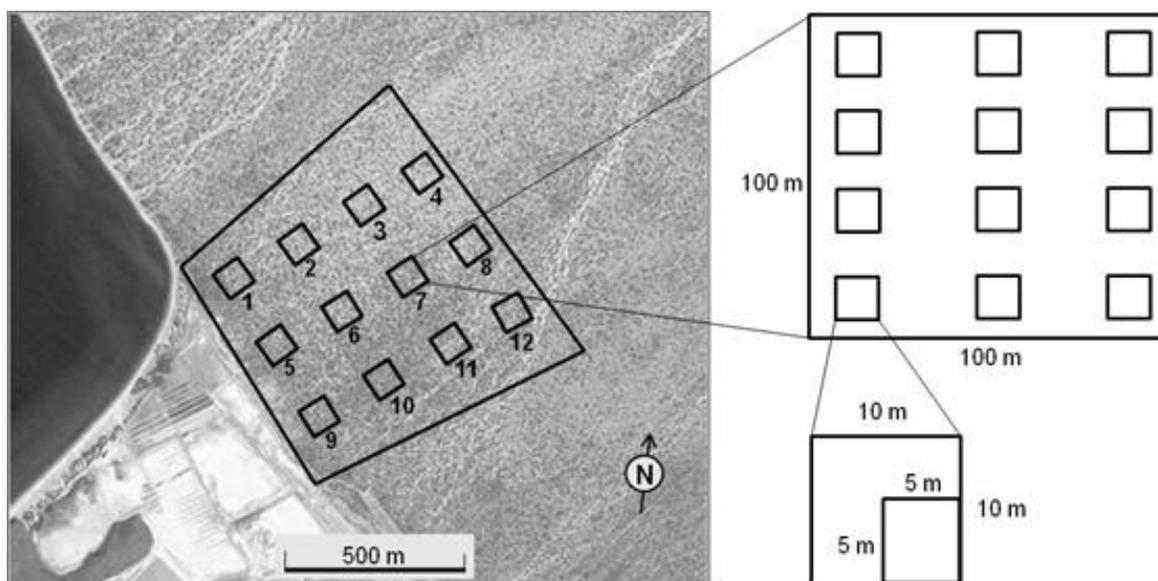


Figura 4. Ubicación y distribución de los cuadrantes empleados para caracterizar la vegetación en el área donde se muestreó la población de *Dipodomys merriami insularis*.

La identificación de las especies de plantas se realizó durante el trabajo de campo mediante la supervisión de la técnico Mayra De la Paz Cuevas, de la colección de vertebrados del Centro de investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). En los casos donde no se lograron identificar las especies en el campo, se colectó material de hojas, tallos y frutos para ser transportados al CIBNOR, donde las plantas fueron identificadas por el técnico Miguel Salvador Domínguez León del laboratorio de botánica. Las características que se midieron de cada especie de planta fueron la altura y la cobertura. La altura fue estimada mediante una pértiga de 5 m. La cobertura de vegetación para cada especie de planta fue determinada mediante la fórmula de la elipse $c = \pi \times 0.25 \times D1 \times D2$ (D1 es el diámetro mayor y D2 el diámetro perpendicular de cada planta), por lo que con una cinta métrica, a una escala de 1 cm, se midió el diámetro mayor y el diámetro perpendicular. Sólo en el caso particular de individuos del cardón (*Pachicercus pringley*), las medidas de cobertura vegetal fueron tomadas del tallo o fuste.

Adicional a lo anterior, sólo durante el período de octubre–noviembre, para cada sitio de captura y madriguera de las ratas canguro se registraron las especies de plantas que estuvieron dentro de un radio de cinco m.

6.2.3 Diseño del muestreo, captura y registro de datos de los roedores

Se emplearon trampas para la captura de animales vivos de 30 x 10 x 10 cm (Sherman traps, Inc., Tallase, Florida), empleando avena como cebo. Las trampas fueron colocadas en transectos paralelos con una separación de 30 m entre los transectos y cinco m entre cada trampa (Fig. 5).

Para completar el muestreo de toda la zona de estudio se requirió de un total de 26 transectos con una longitud de alrededor de 800 m cada uno. Para facilitar el muestreo, se colocaron tres transectos contiguos con 40 trampas, los cuales cubrieron una longitud de 400 m cada transecto. Las trampas permanecieron durante tres noches (durante el muestreo de MM) o dos noches (de ON) antes de ser movidas a los transectos adyacentes. Para completar los 800 metros de cada transecto, una vez que se muestreó el 50 % de toda la zona de estudio en un sentido (en el lado norte; Fig. 5) y posteriormente en el sentido opuesto (en la zona sur; Fig. 5)

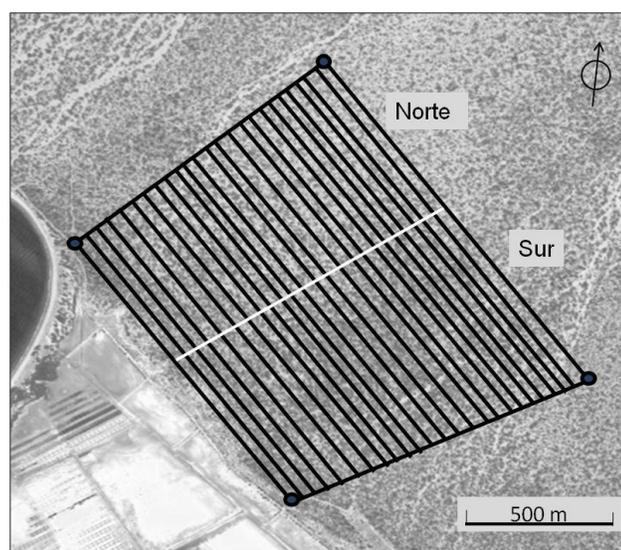


Figura 5. Distribución de transectos para la captura de individuos de *Dipodomys merriami insularis*. La línea blanca delimita la zona norte y sur donde se llevó a cabo el muestreo.

A todos los roedores capturados se les registraron datos como fueron, la especie a la que pertenecieron, medidas morfométricas convencionales (mm), para el caso de *Dipodomys* se incluyó el ancho y longitud de la cabeza (medidas obtenidas de la parte ósea entre la base de cada una de las orejas y desde la punta de la nariz a la parte posterior del cráneo). Las medidas de la anchura y longitud de la cabeza se obtuvieron con un vernier a 0.1 mm de precisión. El peso corporal se obtuvo con la ayuda de una pesola de 1.0 g de precisión. Se registró el estado reproductivo de los roedores. Las hembras se identificaron y registraron en cualquiera de las siguientes condiciones: no reproductivas (que no estuvieran gestantes, lactantes o en estro), gestantes (con presencia de fetos palpables al tacto del abdomen), lactantes (con presencia de leche en los pezones al momento de presionarlos o la ausencia de pelo alrededor de los pezones como presencia de succión reciente por las crías) y en estro (que la vulva estuviera ya sea inflamada, abierta o con tapón seminal).

En los machos se registró la presencia o ausencia de los testículos descendidos en el escroto. En el caso de presentar los testículos en el escroto, se midió la longitud de cada uno de los testículos con un vernier a nivel de precisión de 0.1 mm. y se marcaron con ayuda de un arete metálico (*Dipodomys*) y ectomización de falanges (*Chaetodipus spinatus*, *Peromyscus fraterculus* y *Neotoma bryanti*). Las coordenadas geográficas de la localización del sitio de captura con ayuda de un geoposicionador (GPS) portátil (Lowrance ifinder Expedition C), con una precisión de 3 m, las coordenadas geográficas fueron almacenadas en grados y minutos y se conformó una base de datos.

Se determinaron dos clases de edad en función de su condición reproductora y peso (juveniles y adultos). En *Chaetodipus spinatus* y *Peromyscus fraterculus*, todos los machos con testículos en el escroto fueron definidos como adultos y las hembras con un peso igual o superior a 18 g (los individuos estuvieron reproductivos teniendo un peso similar o mayor a este) y evidencia de preñez o lactancia. En *Neotoma bryanti*, las hembras adultas fueron aquellas con pezones desarrollados y con un peso superior a los 100 g y el único macho adultos que fue capturado tuvo un peso mayor a los 100 g.

Para *Dipodomys* se registró la categoría de edad: juvenil, sub adulto o adulto. El criterio para la clasificación de las categorías de edad consideró lo siguiente: 1) Individuos teniendo pelo suave y peso menor de 28 g fueron considerados como “juveniles”, los

juveniles fueron todos los individuos no reproductivos, machos con ausencia de testículos en el escroto y hembras que estuvieron no gestantes, lactantes o en estro. 2) Los subadultos fueron definidos como individuos con un peso mayor a 28.5 g. Los machos subadultos estuvieron no reproductivos o tuvieron testículos midiendo una longitud menor a 12.6 mm, mientras que las hembras que no estuvieron gestantes ni lactantes, pero algunas estuvieron en estro. Los adultos tuvieron un peso igual o superior a 31.1 g, Los machos adultos tuvieron testículos en el escroto con una longitud mayor a los 12.6 mm y las hembras estuvieron reproductivas o no.

6.2.4 Localización de las madrigueras de *Dipodomys merriami insularis*

La localización de las madrigueras se hizo mediante tres métodos complementarios. Uno consistió en identificar de manera visual la madriguera de entrada de cada rata canguro liberada. Éste método fue empleado sólo cuando se observaron madrigueras con presencia de actividad (suelo removido en las entradas de las madrigueras) cercanas al sitio donde fue capturado el individuo y en áreas con escasa vegetación donde fuera fácil de observar las madrigueras disponibles.

Otro método consistió en el uso de un carrete de hilo (con un tamaño de 2.5 cm x 1 cm y un peso de 1.5 g) equivalente a menos del 4 % del peso corporal del roedor. Se colocaba en la parte dorsal del roedor, tratando de adherir a la piel, para posteriormente ser liberado. La punta del hilo se dejó atada a alguna rama de la vegetación aledaña al sitio de captura para después seguir el filamento hasta que este entró a la madriguera. Una vez localizadas las madrigueras se recogió el hilo del terreno por donde pasó el individuo y se retiró el sobrante que quedó pegado a los individuos, con el fin de evitar que el hilo se enredara en sus patas. Éste método permitió revisar y localizar las madrigueras hasta después de cada sesión de revisión de trampas.

El tercer método consistió en identificar sí las madrigueras donde entro un roedor tuviera la entrada abierta. Si las entradas de las madrigueras estuvieron abiertas entonces la revisión se efectuaba más tarde, debido a que los individuos generalmente tapaban la entrada de su madriguera con arena después de entrar (Fig. 6). Este último método fue generalmente complementario de los dos anteriores.

Una vez localizada la madriguera de cada individuo se le colocó una estaca con una placa metálica donde se anotó el número del individuo y la fecha cuando fue registrada la madriguera por primera vez. La leyenda sobre la placa se hizo empleando un lápiz con punta de diamante y un marcador indeleble (Fig. 6).

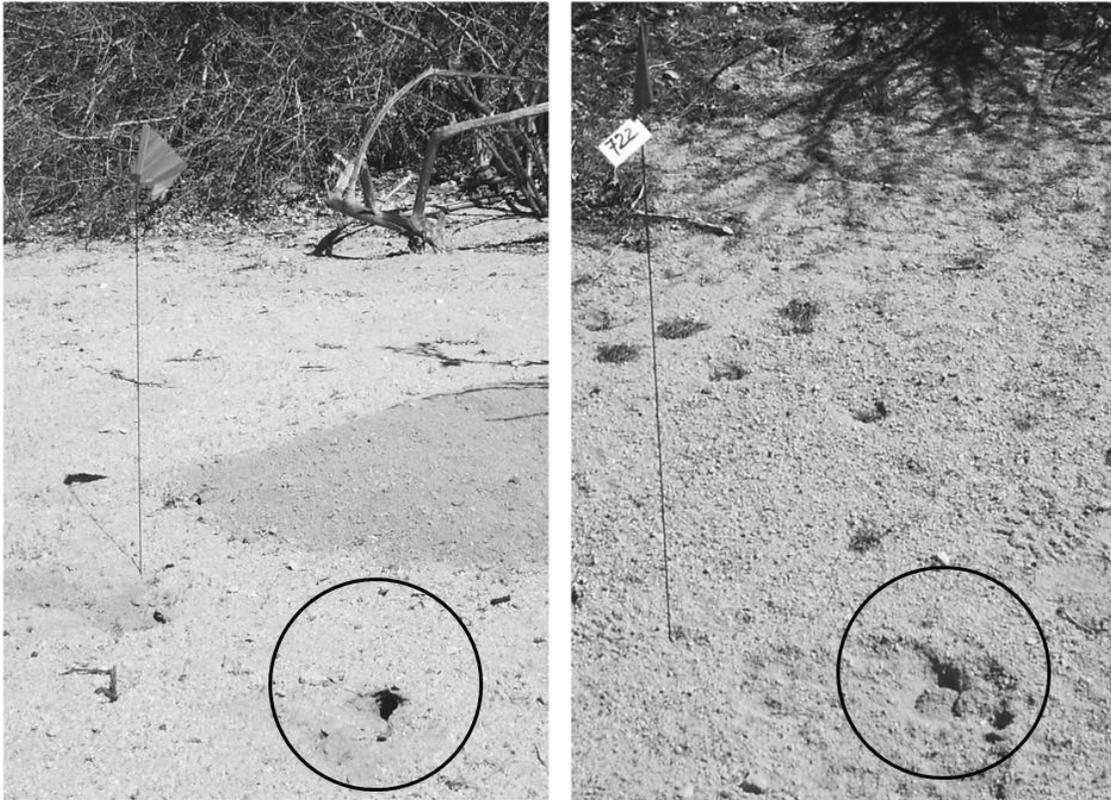


Figura 6. Se muestra la entrada de una madriguera abierta (izquierda) y otra con la entrada tapada con arena (derecha). Asimismo, se puede observar el tipo de estacas empleadas para la identificación y marcaje de cada madriguera.

El criterio de asignación de cada madriguera fue de acuerdo a la frecuencia de entrada de un individuo a una misma madriguera (Waser y Jones, 1991). En el caso de que un individuo registrara más de una madriguera, se determinó como “principal” a la madriguera donde más veces entró. Se consideró que dos individuos compartieron una misma madriguera cuando dos individuos coincidieron en una de ellas y no se les encontró

ninguna adicional. No se incluyeron en el análisis las madrigueras donde no se registró actividad de las ratas canguro (huellas o arena removida).

6.3 Análisis de datos

6.3.1 Descripción de parámetros de la estructura poblacional de *Dipodomys merriami insularis*

Con la finalidad de conocer la estructura poblacional de *D. m. insularis*, se describieron los parámetros como fueron la estructura de edades y proporción de sexos para los individuos capturados en los dos períodos de muestreo (MM y ON). Se obtuvo la proporción de individuos de acuerdo a las categorías de edad correspondientes a juveniles, sub-adultos y adultos. En seguida, se compararon dichas proporciones de acuerdo a la categoría y el período de muestreo por medio de pruebas de chi cuadrada. Adicional a lo anterior, se realizaron comparaciones de la proporción de sexos en cada período de muestreo, por medio de pruebas de chi cuadrada, para determinar si la proporción de sexos en cada categoría fue distinta a una proporción de 1:1.

6.3.2 Características de la vegetación en la zona de estudio y su relación con la distribución de las madriguera de *Dipodomys merriami insularis*

En primer lugar se evaluó la heterogeneidad de la vegetación de los 12 cuadrantes. Para ello, se evaluaron las siguientes características de la vegetación a) índice de diversidad de especies vegetales, b) índice de similitud de especies vegetales entre cuadrantes y c) comparación de la cobertura y altura de la vegetación entre cuadrantes. Sólo en la comparación del índice de similitud entre cuadrantes, se incluyeron todas las especies de ambas categorías de vegetación como un mismo grupo.

a) diversidad de especies

Se evaluaron cuatro estimadores de diversidad para cada uno de los cuadrantes muestreados (1 ha), para evaluar la heterogeneidad de la vegetación.

Los estimadores de diversidad de especies vegetales (Krebs, 2001) incluyeron:

1) Riqueza de especies de plantas; éste correspondió al número total de especies encontradas para cada cuadrante de una hectárea.

2) Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H); éste índice calcula la magnitud de la incertidumbre, ¿qué tan difícil es predecir correctamente la especie del siguiente individuo capturado? De modo que a medida que aumenta esta lo hace el valor de H . El H combina el número de especies y la igualdad o desigualdad de la distribución de individuos en las diversas especies. Para calcular éste índice se empleó la siguiente fórmula:

$$H = -\sum_{i=1}^S (p_i) (\log_2 p_i) \quad (1)$$

Donde S es el número de especies y p_i es la cobertura relativa que corresponde a la especie i .

3) Índice de diversidad de Simpson (D) el cual es la probabilidad de seleccionar aleatoriamente en un muestreo dos organismos de especies diferentes, sus valores van de 0 a 1. El D da poca importancia a las especies poco abundantes y mayor significado a las que lo son. Éste índice se calculó con la siguiente fórmula:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S (p_i)^2 \quad (2)$$

Donde p_i es la cobertura relativa de la especie i en la comunidad.

4) Por último, se estimó el índice de equidad de Pielou el cual da una idea de cuánto se aparta la comunidad bajo estudio de una ideal con el mismo número de especies, en donde las mismas presentan igual abundancia. En otras palabras, corresponde al valor de la diversidad de una comunidad dividido por la diversidad máxima que la misma podría tener. Este índice varía entre 0, misma diversidad relativa, y 1, máxima diversidad relativa, cuando todas las especies son igualmente abundantes.

La equidad se calculó con las siguientes fórmulas:

$$E = H / H_{\max} \quad (3)$$

Donde H es el número de especies observadas en la comunidad, y H_{\max} es la diversidad de especies máxima posible, calculada con la siguiente fórmula:

$$H_{\max} = \log_n S \quad (4)$$

Donde S es el número de especies de la comunidad.

b) Índices de similitud

Se estimó el índice de similitud (I.S), el cual compara la presencia de especies entre cuadrantes, a partir de la siguiente fórmula (Krebs, 2001):

$$I.S. = 2c / (a + b) \quad (5)$$

Donde c es el número de especies que se encuentran tanto en X como en Y , a es el número de especies en el sitio X (= A, B, C y D), y b es el número de especies que se encuentran en el sitio Y (= A, B, C y D).

c) Comparación de la cobertura y altura vegetal entre cuadrantes

La comparación de la cobertura y altura de vegetación se hizo mediante un Análisis de Varianza de una vía (ANOVA) seguidos por pruebas de *Tukey* como *post hoc*, cuando los datos pasaron las pruebas de normalidad (*Kolmogorov-Smirnov test*; Zar, 2009). En caso contrario se emplearon pruebas no paramétricas de comparación múltiple entre los grupos (*Kruskal-Wallis test*) seguidas de pruebas de *Dunn* como *post hoc* (Zar, 2009).

6.3.3 Patrón de asociación entre las características de la vegetación y las madrigueras de *Dipodomys merriami insularis*

Se evaluó si existe un patrón de asociación entre los sitios donde se ubicaron las madrigueras de las ratas canguro y las especies de plantas de la zona de estudio. Para ello se evaluó la representatividad de cada especie vegetal asociada a las madrigueras y sitios de captura con base a la frecuencia en que cada especie fue encontrada junto a cada madriguera o sitio de captura. Debido a que se buscaba encontrar un patrón de asociación entre la localización de las madrigueras y los sitios de captura en relación a las especies vegetales se incluyeron los datos de todas las madrigueras y sitios de captura de los individuos.

Adicional a la evaluación de la asociación entre la ubicación de las madrigueras y las especies vegetales, se determinó el índice de valor de importancia (I.V.I.) para cada especie vegetal, con la finalidad de identificar si las especies encontradas cerca de las madrigueras fueron las que estuvieron mejor representadas en la zona de estudio (Krebs, 2001). La determinación de los valores de importancia se realizaron para las especies con una altura menor a 2.5 m y mayor a 2.5 m.

El índice de valor de importancia considera la frecuencia y la cobertura de las especies por lo que provee un indicador de la representatividad de cada especie vegetal. Para ello, con los datos de cobertura vegetal y su frecuencia se calculó para cada especie:

Cobertura Absoluta = suma de la cobertura vegetal de todas las especies en los 12 cuadrantes de 10 x 10 m de cada cuadrante de una hectárea.

Cobertura Relativa = cobertura absoluta de la especie / sumatoria de las coberturas absolutas de todas las especies encontradas en cada cuadrante de una hectárea.

Frecuencia Absoluta = número de cuadrantes de 10 x 10 en que se presentó la especie / 12.

Frecuencia Relativa = frecuencia absoluta de la especie / sumatoria de las frecuencias absolutas de todas las especies encontradas en un mismo cuadrante de una hectárea.

$$\text{Índice de Valores de importancia I.V.I.} = \text{Cobertura relativa} + \text{Frecuencia relativa} \quad (6)$$

Adicional a lo anterior, se buscaron relaciones entre el número de madrigueras de las ratas canguro y la estructura y diversidad de especies vegetales. Para ello, se realizaron matrices de correlación, entre los indicadores de la biodiversidad (riqueza de especies, diversidad de Shannon-Wiener, Simpson y la equidad de Pielou) y el número de madrigueras encontradas en los cuadrantes de una hectárea donde fue muestreada la vegetación. Asimismo, se buscaron correlaciones con la estructura de la vegetación como fueron la altura y la cobertura vegetal para las categorías de vegetación menor a 2.5 m y la mayor de 2.5 m. Todas las variables pasaron las pruebas de normalidad (Kolmogorov y Smirnov). Las relaciones con factores de correlación altos fueron analizadas mediante correlaciones lineales independientes.

6.4 Evaluación de los factores que influyen el patrón de uso y proximidad espacial entre madrigueras de *Dipodomys merriami insularis*

Con la finalidad de tener una descripción del uso de las madrigueras de *D. m. insularis* se evaluaron los siguientes características: 1) La frecuencia de madrigueras no compartidas a las que entró cada individuo. 2) Frecuencia de madrigueras compartidas. 3) Distancia entre madrigueras de un mismo individuo. 4) La distancia entre madrigueras de un mismo individuo registradas en los dos períodos de muestreo y 5) Distribución espacial de las madrigueras. Todos los análisis de la ubicación de las madrigueras fueron basados sobre la entrada principal. Asimismo, fue asumido que dos individuos compartieron una misma madriguera cuando el mismo individuo fue encontrado repetidamente (más de dos veces) en una sola madriguera o sí no se encontró alguna otra madriguera para esos animales.

Las distancias entre madrigueras se estimaron con la extensión `dmatrix_en.avx` para ArcView por Mr. Hanna Maoh (2001), calculando la distancia lineal entre las ubicaciones de cada madriguera. Para determinar si las entradas principales de las madrigueras fueron aleatoriamente distribuidas, fue realizado el análisis del vecino más cercano (Clark y Evans, 1954) usando la extensión ver.10 en ArcView versión 3.2^a (ESRI web site).

El método se basa en calcular la distancia media encontrada entre la ubicación de cada sitio de captura y su vecino más próximo. En seguida, compara la distancia observada con la distancia media esperada de un grupo de puntos con la misma densidad, dispersos aleatoriamente. La tasa de esas distancias (valor de R) provee una indicación de cómo la distribución observada se desvía de la aleatoria. Un valor de “R” mayor a “1” indica una distribución regular, mientras que valores más cercanos a cero indican una distribución agregada. Para mayores detalles referirse al script desarrollado por Colin Brooks (Nearest Neighbor Script, v. 1.8 disponible en la página web de ESRI).

Para evaluar si el patrón de uso de madrigueras fue influenciado por el período de muestreo, el sexo y la edad de los individuos. Los datos del número de madrigueras usadas por los individuos mostraron un sesgo en su distribución y no pudieron ser transformados. Por lo tanto, para determinar qué factores influyeron sobre el patrón de uso de madrigueras se realizó un modelo lineal generalizado (GLM por las siglas en inglés) con una distribución de Poisson (la distribución de Poisson fue la que produjo la desviación mínima; Crawley, 2007).

El GLM se empleó para probar el efecto del sexo, la clase de edad, el período de muestreo (MM y ON), frecuencia de captura (categorías baja = 1-3, media = 4-6, y alta > 6) y sus interacciones (sexo \times período de muestreo, sexo \times clase de edad y clase de edad \times período de muestreo) sobre el número de madrigueras usadas por cada individuo. Confirmamos que todos los modelos paramétricos se aproximaron a la distribución normal al revisar de manera visual los puntos probables y usar pruebas de Shapiro-Wilk (Faraway, 2006).

Adicional a lo anterior, se describió el patrón de proximidad espacial entre madrigueras para toda la población muestrea en el área de estudio. Para ello se evaluó lo siguiente: a) determinación del patrón de distancia entre madrigueras de vecinos más cercanos y; b) estimación de un índice de distancia, que evalúa si las madrigueras de individuos del mismo sexo están más cerca que las de individuos del sexo opuesto.

El patrón de proximidad entre madrigueras de las ratas canguro se calculó como la distancia entre el vecino más cercano (las localizaciones de las madrigueras separadas por la distancia lineal más corta entre ellas) de individuos del mismo sexo y del sexo opuesto. La distancia entre las entradas principales de cada madriguera fue medida en metros y calculada usando la extensión *dmatrix.en.avx* para ArcView (Maoh, 2001). El promedio de las distancias entre madrigueras fue comparado para pares de individuos del mismo sexo y sexo opuesto, en hembras y machos, para cada período de muestreo. Ninguno de los datos fueron estadísticamente normales al analizarlos mediante las pruebas de normalidad requeridas para ser analizados con pruebas paramétricas. Por lo tanto, se usaron análisis de *Kruskall-Wallis* para identificar las diferencias entre las categorías de pares, seguidos de pruebas de *Dunn* como *Post hoc* ($P < 0.05$), para identificar las diferencias entre los pares.

La proximidad espacial entre madrigueras de vecinos más cercanos de ratas canguro del mismo sexo respecto a individuos del sexo opuesto fue estimada mediante un índice de distancia. El índice de distancia consistió en dividir la distancia entre madrigueras de vecinos más cercanos del mismo sexo por la distancia entre individuos del sexo opuesto.

El valor del índice de distancia provee información de si las madrigueras de individuos del mismo sexo están más cerca que las de individuos del sexo opuesto. Los valores del índice de distancia aumentan conforme la distancia entre madrigueras de los individuos del mismo sexo es mayor a la del sexo opuesto. Para determinar cuáles factores influyen sobre el índice de distancia, se realizó un GLM con una distribución Gama (la distribución gama produjo la desviación mínima; Crawley, 2007) para probar el efecto del período de muestreo, el sexo y la clase de edad sobre el índice de distancia. El índice de distancia mostró un sesgo en su distribución y los datos transformados no presentaron una distribución normal. Por lo tanto, las relaciones entre las variables fueron evaluadas mediante el ajuste del GLM con la distribución gama.

6.5 Patrón de distribución espacial de la comunidad de roedores alrededor de las madrigueras de *Dipodomys merriami insularis*

Se evaluó si el patrón de distribución espacial de la comunidad de roedores encontrados alrededor de las madrigueras de *D. m. insularis* varió respecto al sexo del

propietario de la madriguera y con la temporada reproductiva de las ratas canguro. Para ello se determinó: a) La frecuencia relativa de capturas de los roedores en el área de estudio. b) La actividad reproductiva de todos los roedores muestreados. c) El patrón de distribución espacial de todas las especies de roedores para ambos períodos de muestreo y d) El patrón de proximidad entre sitios de captura de los roedores respecto a la localización de las madrigueras en función del sexo de los propietarios y la estación reproductiva.

Para describir las características de la comunidad de roedores durante los dos períodos de muestreo, se empleó la frecuencia relativa de los individuos capturados. La frecuencia relativa de capturas para cada especie fue calculada al dividir el número de individuos capturados de cada especie entre el total de individuos capturados de todas las especies. Las estimaciones de la frecuencia relativa de capturas fueron calculadas para cada período de muestreo de forma independiente.

Adicional a lo anterior, se determinaron características de la actividad reproductiva de todos los individuos de la comunidad de roedores respecto a los períodos de muestreo. Para ello, fue estimado el porcentaje de adultos (de ambos sexos) y juveniles para cada período de muestreo. Para cada especie y período de muestreo, el porcentaje de hembras y machos reproductivos capturados fue calculado en relación al número total de hembras o machos. Así mismo, la proporción de juveniles capturados se calculó para cada especie en relación al número total de individuos capturados. Las diferencias en el porcentaje de hembras o machos reproductivos y de juveniles entre los dos períodos de muestreo fueron analizados para cada especie usando una prueba de chi cuadrada ($P < 0.05$). Con la finalidad de corroborar los cambios en la actividad reproductiva entre períodos de muestreo, sólo para los machos de *D. m. insularis*, fueron comparados los datos de la longitud de los testículos de los individuos adultos entre el período MM y ON. Debido a que los datos del tamaño de los testículos mostraron una distribución normal (prueba de *Kolmogorov-Smirnov*), se compararon mediante una prueba de *t* de *student* (*t-test*) para medidas repetidas.

Por otro lado, se evaluó si los individuos de las diferentes especies se distribuyen de manera aleatoria en la zona de estudio. Para ello, se estimó el patrón de distribución de los sitios de captura para cada una de las especies de roedores, lo cual se evaluó con el índice

de agrupación (R) por medio del análisis del vecino más próximo (Clark y Evans, 1954). El cálculo del vecino más cercano fue realizado en Arcview 3.2a, empleando la extensión Nearest Neighbour Analyst Extension ver.1.0.

Posteriormente, se evaluó cómo el sexo de las ratas canguro y el período de muestreo pueden influir sobre el patrón de proximidad entre sitios de captura de los roedores y las madrigueras de *D. m. insularis*. Para ello, se analizó la distancia más cercana entre las madrigueras de las ratas canguro y los sitios de captura de los individuos de cada especie. Las distancias entre las localizaciones (madrigueras y sitios de captura) fueron estimadas para todos los individuos como la distancia lineal en metros entre las dos localizaciones, usando la extensión dmatrix_en.avx para ArcView (Maoh, 2001).

Para determinar cómo el sexo del propietario de cada madriguera y la estación reproductiva de *D. m. insularis* estuvo relacionada con la distribución espacial de los roedores alrededor de la madriguera, se hizo un modelo lineal generalizado con una distribución Gama (la distribución gama produjo la desviación mínima; Crawly, 2007). El GLM se empleó para probar el efecto de las especies de roedores, el sexo y el período de muestreo sobre la distancia más cercana entre madrigueras de las ratas canguro y los sitios de captura de los individuos de cada especie de roedor. Debido a que la variable “distancia” fue sesgada y la transformación de los datos no permitió normalizar dicha distribución, fue necesario ajustar los GLMs con la distribución gama para encontrar las relaciones entre variables. Se confirmó que los residuales del modelo paramétrico se aproximaron a la distribución normal por una revisión visual de la probabilidad de puntos y al analizar los datos con la prueba de Shapiro-Wilk (Faraway, 2006). Las comparaciones que se emplearon como *Post-hoc* fueron realizadas con el GLM entre los grupos respectivos.

Todos los análisis de los modelos lineales generalizados fueron realizados con el paquete “R” para Windows versión 2.11.1 (R Development Core Team, 2010). Los análisis donde se emplearon las pruebas de chi cuadrada, *Kruskall-Wallis* y *t-student* para muestras repetidas fueron realizados con el paquete estadístico STATISTICA 7.0 (Statsoft Inc. 2004).

7. RESULTADOS

Durante todo el período de trabajo de campo se capturaron un total de 303 individuos (145 hembras y 158 machos) de la rata canguro de la isla San José. El patrón de capturas obtenidas para cada período de muestreo se muestra en la Tabla I.

Tabla I. Descripción de las capturas de individuos de *Dipodomys merriami insularis* obtenidas en los períodos de muestreo.

Período de muestreo		Juveniles	Sub-adultos	Adultos	Total
Marzo–Mayo	Hembras (#)	7	11	65	83
	Machos (#)	6	5	83	94
	Total (#)	13	16	148	177
Octubre–Noviembre	Hembras (#)	21	41	28	90
	Machos (#)	25	38	28	91
	Total (#)	46	79	56	181

De los 177 individuos capturados durante el período entre MM de 2008, la frecuencia de capturas para ambos sexos varió entre 1 y 15 (mediana = 2). De los 181 individuos capturados durante el período de ON de 2008, la frecuencia de capturas varió de 1 a 9 en las hembras y de 1 a 6 en los machos (mediana = 1 para los dos sexos). La distribución de frecuencias de capturas durante los dos períodos de muestreo antes mencionados se muestra en la figura 7.

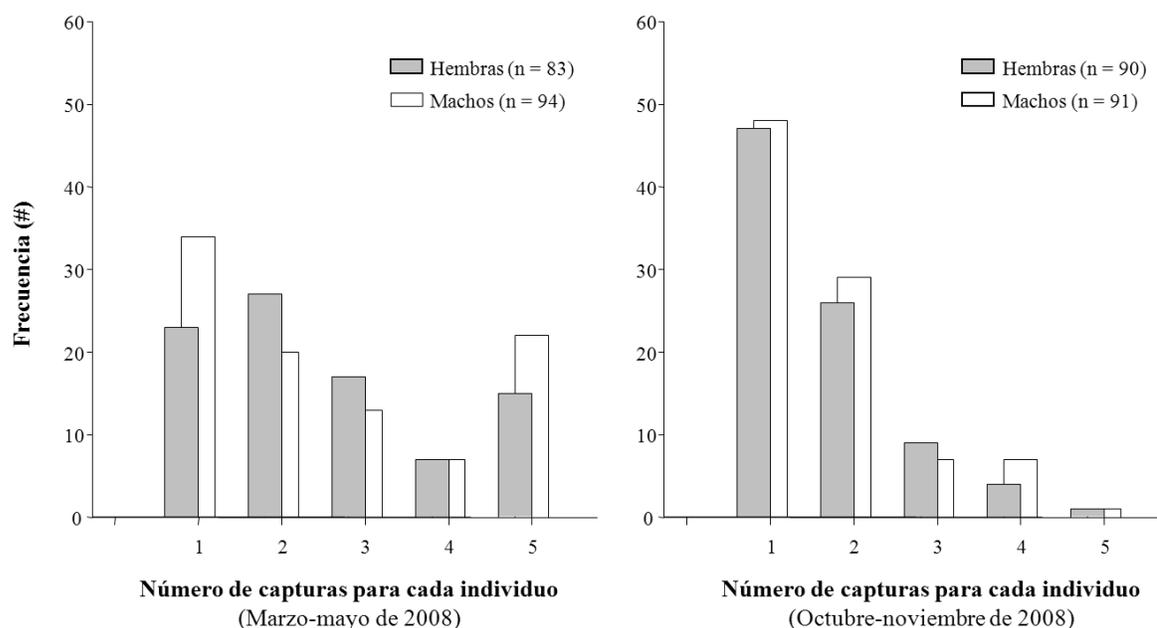


Figura 7. Frecuencia de capturas para los individuos de *Dipodomys merriami insularis*, durante los períodos de marzo—mayo (izquierda) y octubre—noviembre (derecha) de 2008.

7.1 Descripción de parámetros de la estructura poblacional de *Dipodomys merriami insularis*

La estructura de edades en la población muestreada fue caracterizada por individuos adultos, sub-adultos y juveniles. La frecuencia de capturas para cada categoría de edad se describe en el Tabla I. Durante el primer período de muestreo, la proporción de individuos (hembras y machos) capturados fue para adultos 83.6 %, sub-adultos el 9 % y para los juveniles 7.4 %. Durante el período de muestreo de octubre - noviembre la proporción de individuos capturados fue del 30.9 % para individuos adultos, 43.6 % para sub-adultos y 25.5 % para los juveniles.

Durante el período de muestreo MM, la proporción de sexos en los individuos adultos fue 43.9 % en hembras y 56.1 % en los machos ($n_{\text{hembras}} = 65$, $n_{\text{machos}} = 83$, $\chi^2 = 0.32$, $P = 0.57$). En los sub-adultos la proporción de sexos fue 68.8 % en hembras y 31.2 %

en los machos ($n_{\text{hembras}} = 11$, $n_{\text{machos}} = 5$, $\chi^2 = 7.04$, $P = 0.006$). En los juveniles la proporción de sexos fue 53.9 % en hembras y 46.1 % en los machos ($n_{\text{hembras}} = 7$, $n_{\text{machos}} = 6$, $\chi^2 = 0.32$, $P = 0.57$). Aunque en los adultos y los juveniles la proporción de sexos no fue diferente significativamente de 1:1, en los sub-adultos hubo un sesgo hacia las hembras.

Durante el período de muestreo ON, la proporción de sexos en los individuos adultos fue 50% en hembras y 50 % en los machos ($n_{\text{hembras}} = 28$, $n_{\text{machos}} = 28$, $\chi^2 = 0.0$, $P = 1.0$). En los individuos sub adultos la proporción de hembras fue 51.9 % y en los machos 48.1 % ($n_{\text{hembras}} = 41$, $n_{\text{machos}} = 38$, $\chi^2 = 0.08$, $P = 0.77$). En los juveniles la proporción de hembras fue de 45.7 % y en los machos de 54.3 % ($n_{\text{hembras}} = 21$, $n_{\text{machos}} = 25$, $\chi^2 = 0.32$, $P = 0.57$). En ninguno de las tres categorías de edad, la población muestreada tuvo una proporción de sexos que fuera diferente significativamente de 1:1.

7.2 Características de la vegetación en la zona de estudio y su relación con la distribución de las madriguera de *Dipodomys merriami insularis*

Se encontraron un total de 27 especies vegetales en toda la zona de estudio de 24 géneros y 18 familias (Tabla II). El número de especies vegetales (incluyendo herbáceas, arbustos y árboles de las dos categorías de altura) varió entre los cuadrantes con nueve especies como mínimo y 19 como máximo, con una mediana de 15 especies (Tabla III).

Tabla II. Listado de especies vegetales encontradas en el área donde fueron muestreados los individuos de *Dipodomys merriami insularis*.

Número	Nombre común	Familia	Especies	Abreviación	Forma de vida
1	Rama parda	Acantaceae	<i>Ruellia californica peninsularis</i>	Ru.ca.	Ab
2	Ciruelo de monte	Anacardaceae	<i>Cyrtocarpa edulis</i>	Cy.ed.	Ar
3	Romerillo amargo	Asteraceae	<i>Haplopappus sonorensis</i>	Ha.so.	Ab
4	Torote	Burseraceae	<i>Bursera microphyla</i>	Bu.mi.	Ar
5	Jojoba	Buxaceae	<i>Simmondsia chinensis</i>	Si.ch.	Ab
6	Cholla	Cactacea	<i>Opuntia cholla</i>	Op.ch.	S
7		Cactacea	<i>Opuntia</i> sp.	Op.sp.	S
8	Cardón	Cactacea	<i>Pachycereus pringlei</i>	Pa.pr.	S
9	Pitahaya agria	Cactacea	<i>Stenocerus gummosus</i>	St.gu.	S
10	Pitahaya dulce	Cactacea	<i>Stenocerus thurbei</i>	St.th.	S
11	Palo verde	Caesalpiniaceae	<i>Cercidium peninsulare</i>	Ce.pe.	Ar
12	Juaiven	Capparidaceae	<i>Atamisquea marginata</i>	At.ma.	Ab
13	Palo San Juan	Capparidaceae	<i>Forchammeria watsonii</i>	Fo.wa.	Ar
14	Mangle dulce	Celastraceae	<i>Maytenus phyllantoides</i>	Ma.ph.	Ab-Ar
15	Pimientilla	Euphorbiaceae	<i>Adelia virgata</i>	Ad.vi.	Ab-Ar
16	Lomboy	Euphorbiaceae	<i>Jatropha cinerea</i>	Ja.ci.	Ab-Ar
17	Matacora	Euphorbiaceae	<i>Jatropha cuneata</i>	Ja.cu.	Ab
18	Palo santo	Euphorbiaceae	<i>Viscainoa geniculata</i>	Vi.ge.	Ab
19	Palo fierro	Fabaceae	<i>Olneya tesota</i>	Ol.te.	Ar
20	Palo Adán	Fouquieriaceae	<i>Fouquieria diguetii</i>	Fo.di.	Ab-Ar
21		Lamiaceae	<i>Hyptis laniflora</i>	Hy.la.	Ab
22	Enredadera	Polygonaceae	<i>Antigonon leptopus</i>	An.le.	Ta
23	Palo rojo	Rhamnaceae	<i>Colubrina vididis</i>	Co.vi.	Ab
24	Palo negro	Rhamnaceae	<i>Condalia globosa</i>	Co.gl.	Ab-Ar
25	Palo amarillo	Rutaceae	<i>Esenbeckia flava</i>	Es.fl.	Ab-Ar
26	Muérdago	Santalaceae	<i>Phoradendrom digentianum</i>	Ph.di.	P
27	Frutilla	Solanacea	<i>Lycium</i> sp.	Ly.sp.	Ab

Ab: arbusto, Ar: árbol, P: parásita, S: suculenta, Ta: trepadora natural.

Tabla III. Riqueza de especies vegetales encontradas en el hábitat de *Dipodomys merriami insularis*. Los números de la línea superior representan los cuadrantes muestreados.

Número	Especies	Forma de vida	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	<i>Ruellia californica</i>	Ab	*				*					*		*
2	<i>Cyrtocarpa edulis</i>	Ar	*	*		*	*		*	*	*	*	*	*
3	<i>Haplopappus sonorensis</i>	Ab									*			
4	<i>Bursera microphyla</i>	Ar	*	*		*	*			*	*	*	*	*
5	<i>Simmondsia chinensis</i>	Ab	*	*	*	*						*		*
6	<i>Opuntia cholla</i>	S	*	*		*	*	*			*	*	*	*
7	<i>Opuntia</i> sp.	S							*					
8	<i>Pachycereus pringlei</i>	S	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
9	<i>Stenocercus gummosus</i>	S	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	<i>Stenocercus thurbei</i>	S	*				*	*	*	*	*			*
11	<i>Cercidium peninsulare</i>	Ar	*	*		*	*	*	*	*		*	*	*
12	<i>Atamisquea marginata</i>	Ab	*				*	*					*	
13	<i>Forchammeria watsonii</i>	Ar												*
14	<i>Maytenus phyllantoides</i>	Ab-Ar	*				*				*			
15	<i>Adelia virgata</i>	Ab-Ar	*			*			*	*	*	*	*	*
16	<i>Jatropha cinerea</i>	Ab-Ar	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
17	<i>Jatropha cuneata</i>	Ab									*			
18	<i>Viscainoa geniculata</i>	Ab		*				*					*	
19	<i>Olneya tesota</i>	Ar	*	*	*		*	*	*		*	*	*	
20	<i>Fouquieria diguetii</i>	Ab-Ar	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*
21	<i>Hyptis laniflora</i>	Ab			*				*	*		*		*
22	<i>Antigonon leptopus</i>	Ta	*				*				*			*
23	<i>Colubrina vididis</i>	Ab						*			*	*		
24	<i>Condalia globosa</i>	Ab-Ar	*								*			
25	<i>Esenbeckia flava</i>	Ab-Ar	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*
26	<i>Phoradendrom digentianum</i>	P												*
27	<i>Lycium</i> sp.	Ab	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*
Riqueza de especies			19	13	9	10	16	13	12	12	18	16	14	18

Ab: arbusto, Ar: árbol, P: parásita, S: suculenta, Ta: trepadora natural.

Se encontró que el hábitat de *D. m. insularis* muestra heterogeneidad en cuanto a la diversidad y estructura vegetal. En cuanto a la diversidad de especies, en la categoría de vegetación menor a 2.5 m, varió entre los cuadrantes muestreados. La riqueza de especies (S) varió de seis (cuadrante 4) hasta 17 especies (cuadrante 1). La diversidad de Shannon-Wiener (H) fue de 1.57 (cuadrante 10) a 3.12 (cuadrante 1). La diversidad de Simpson (D) entre 0.44 (cuadrante 10) hasta 0.85 (cuadrante 1). La diversidad máxima (Hm) de 3 (cuadrantes 2, 3, 7 y 11) a 4.09 (cuadrante 1) y el índice de equidad (E) de 0.45 (cuadrante 10) a 0.8 (cuadrante 6).

En general la riqueza de especies y los índices de diversidad de Shannon-Wiener y diversidad de Simpson tuvieron información similar. Sólo en el cuadrante 10, la riqueza de especies estuvo entre los valores más elevados (11 especies) pero con valores del índice Shannon-Wiener y diversidad de Simpson reducidos. Esta discrepancia se reflejó en el índice de equidad, el cual tuvo el valor más reducido de todos los cuadrantes (Tabla IV).

Para el caso de la vegetación mayor a 2.5 m, la diversidad también varió entre cuadrantes. La riqueza de especies tuvo valores de 6 (cuadrante 4) a 12 (cuadrantes 9 y 19). La diversidad de Shannon-Wiener de 1.84 (cuadrante 2) a 2.48 (cuadrantes 3 y 10). La diversidad de Simpson de 0.59 (cuadrante 2) a 0.82 (cuadrante 12). La diversidad máxima de 2.58 (cuadrante 4) a 3.58 (cuadrantes 9 y 10) y el índice de equidad de 0.6 (cuadrante 7) a 0.88 (cuadrante 3). En general, la riqueza de especies mostró patrones consistentes con los valores de diversidad de Shannon-Wiener, diversidad de Simpson y el índice de equidad (Tabla IV).

Tabla IV. Diversidad de especies para cada uno de los 12 cuadrantes donde se muestreo la vegetación en el presente estudio.

Vegetación menor a 2.5 m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Riqueza de especies (S)	17	8	8	6	12	9	8	9	11	11	8	12
Diversidad Shannon-Wiener (H)	3.12	2.36	2.37	1.88	2.78	2.55	1.99	2.22	2.72	1.57	2.26	2.76
Diversidad de Simpson (D)	0.85	0.75	0.75	0.65	0.82	0.79	0.66	0.69	0.82	0.44	0.73	0.80
Equidad (E)	0.76	0.79	0.79	0.73	0.78	0.80	0.66	0.70	0.79	0.45	0.75	0.77
Vegetación mayor a 2.5m												
Riqueza de especies (S)	8	8	7	6	10	11	9	9	12	12	9	9
Diversidad Shannon-Wiener (H)	2.28	1.84	2.48	2.14	2.5	2.2	1.91	2.45	2.73	2.48	2.4	2.63
Diversidad de Simpson (D)	0.72	0.59	0.81	0.75	0.79	0.73	0.67	0.78	0.81	0.75	0.76	0.82
Equidad (E)	0.76	0.61	0.88	0.83	0.75	0.64	0.6	0.77	0.76	0.69	0.76	0.83

En cuanto a los índices de similitud, la comparación entre cuadrantes evidenció que cinco cuadrantes compartieron menos del 50 % de especies (Tabla V). Los cuadrantes que tuvieron un índice de similitud menor al 50 % de especies compartidas, fueron seis y el tres, cuatro y 10, nueve y 10, y cinco y siete. Por lo contrario, los cuadrantes que tuvieron el mayor índice de similitud fueron entre el uno y el cinco, con un índice de similitud del 91% y entre el dos y el 11 con el 80% (ver figura 4 para la ubicación de los cuadrantes).

Tabla V. Matriz de índices de similitud de especies vegetales entre los 12 cuadrantes muestreados en el hábitat de *Dipodomys merriami insularis*.

No. de especies	cuadrante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
18	1	1	0.59	0.52	0.62	0.91	0.64	0.57	0.64	0.71	0.67	0.69	0.63
9	2		1	0.67	0.71	0.58	0.74	0.63	0.63	0.55	0.57	0.8	0.61
9	3			1	0.71	0.67	0.42	0.53	0.63	0.64	0.57	0.6	0.7
8	4				1	0.61	0.44	0.56	0.67	0.67	0.7	0.74	0.64
15	5					1	0.56	0.48	0.56	0.71	0.59	0.69	0.62
10	6						1	0.6	0.6	0.52	0.64	0.76	0.42
10	7							1	0.9	0.52	0.73	0.76	0.58
10	8								1	0.52	0.73	0.86	0.67
13	9									1	0.48	0.58	0.59
12	10										1	0.78	0.69
11	11											1	0.72
14	12												1

Al comparar la cobertura vegetal de especies clasificadas en la categoría menor a 2.5 m de altura, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($F = 5.05$, g.l. = 11, $P < 0.0001$, Fig. 8). La cobertura vegetal de los cuadrantes dos, tres, cuatro, seis, siete, ocho y 11 fue menor que la del cuadrante uno ($P < 0.003$ en todos los casos). Asimismo, la cobertura vegetal del cuadrante seis fue menor que la del cuadrante nueve ($P = 0.03$). En cuanto a la comparación de la altura en esta misma categoría de vegetación, las diferencias en la altura entre los cuadrantes fueron estadísticamente significativas ($F = 2.58$, g.l. = 11, $P = 0.005$, Fig. 9). La altura de la vegetación del cuadrante cinco fue mayor estadísticamente que el cuadrante dos ($P = 0.03$) y el once ($P = 0.007$). Asimismo, la vegetación del cuadrante nueve fue mayor estadísticamente que el cuadrante 11 ($P = 0.04$).

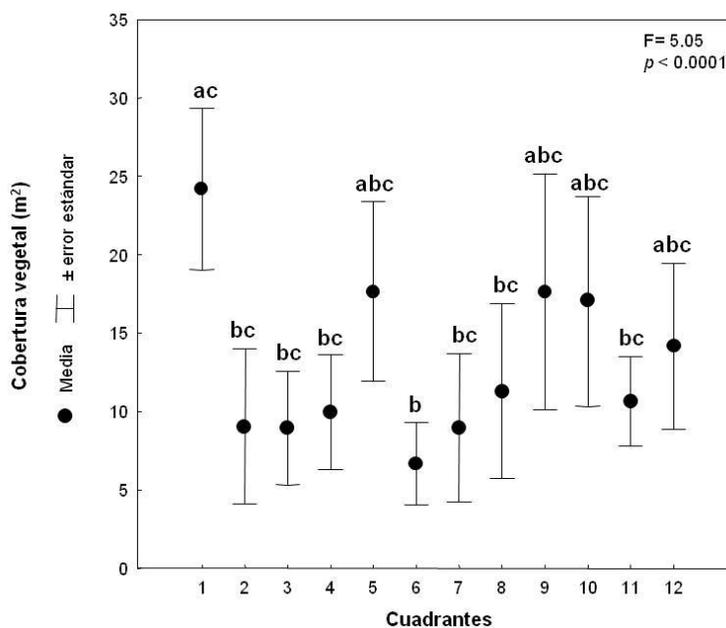


Figura 8. Cobertura vegetal de las especies con altura menor a 2.5 metros, registrada para los 12 cuadrantes localizados en el área de muestreo de *Dipodomys merriami insularis*. Letras distintas denotan diferencias significativas al emplear un ANOVA.

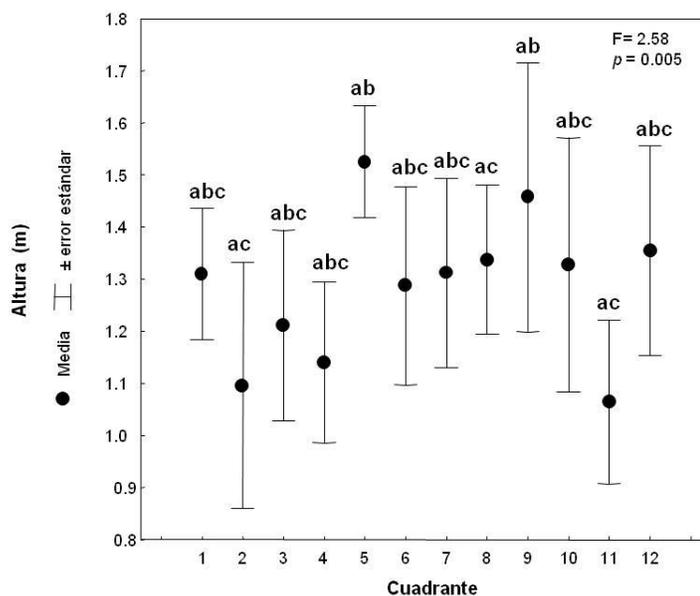


Figura 9. Altura promedio de la vegetación clasificada con la categoría menor a 2.5 metros, registrada para los 12 cuadrantes localizados en el área de muestreo de *Dipodomys merriami insularis*. Letras distintas denotan diferencias significativas al emplear un ANOVA.

Al comparar la cobertura vegetal de las especies de la categoría mayor a los 2.5 m entre los cuadrantes, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($H = 27.27$, *g.l.* 11, $P = 0.004$, Fig. 10). La vegetación del cuadrante uno tuvo menor cobertura vegetal que los cuadrantes cinco, seis, ocho y diez ($P < 0.02$ en todas las comparaciones). La comparación de la altura para las especies de la categoría mayor a los 2.5 m no mostró diferencias estadísticamente significativas ($F = 1.64$, *g.l.* = 11, $P = 0.09$).

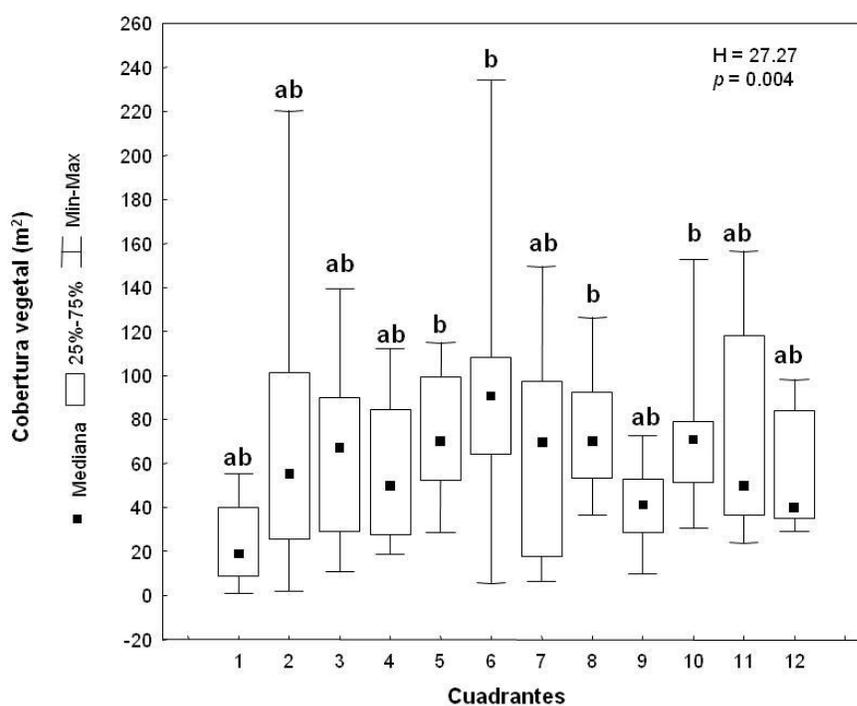


Figura 10. Cobertura vegetal de la vegetación con categoría menor a 2.5 metros, registrada para los 12 cuadrantes localizados en el área de muestreo de *Dipodomys merriami insularis*. Letras distintas denotan diferencias significativas al emplear la comparación múltiple de *Kruskal-Wallis*.

En cuanto a la relación entre las características de la vegetación y las madrigueras de *D. m. insularis*, se encontró un total de 23 especies vegetales alrededor de las madrigueras de *D. m. insularis* (Tabla VI). De las 197 madrigueras analizadas, en el perímetro de 5 m alrededor de las madrigueras, se encontraron de 1 a 5 especies de plantas. Sólo dos especies vegetales (lo que representó el 8.7 % de las especies identificadas),

fueron encontradas en los alrededores de más del 50 % de las madrigueras. Esas especies incluyeron al lomboy (*Jatropha cinerea*), que fue encontrada en el 58 % de las madrigueras y la pitay agria (*Stenocerus gummosus*), encontrada en el 50 % de las madrigueras. Otras ocho especies (el 34.8 %) vegetales fueron encontradas del 11 % al 40 % de las madrigueras. El resto de las especies de plantas (el 47.8 %) fueron encontradas en menos del 5 % de las madrigueras.

En los alrededores de los sitios de captura se identificaron 26 especies de plantas leñosas. En cada sitio de captura se identificaron de 1 a 5 especies. Sólo 12 especies de plantas fueron las más comunes cerca de los sitios de captura, encontrándose del 11 % al 38 % de dichos sitios, el resto (14 especies) se encontraron en una proporción menor al 8 % de los sitios de captura.

De las especies encontradas cerca de los sitios de captura y las madrigueras, los valores de importancia para las especies de vegetación con una altura menor a 2.5 m, variaron de 0.02 a 1.61 (Tabla VIIa). Las especies con menor índice de valor de importancia incluyeron al muérdago (*Phoradendrom digentianum*), el nopal (*Opuntia* sp.), la matacora (*Jatropha cuneata*) y el palo negrito (*Condalia globosa*, V.I. = 0.02 en las cuatro especies) y las especies con mayor valor de índice importancia fueron el lomboy (*Jatropha cinerea*, V.I. = 1.08) y la pitahaya agria (*Stenocerus gummosus*, V.I. = 1.61).

Tabla VI. Especies de la vegetación leñosa encontrada alrededor de las madrigueras y sitios de captura de los individuos de *Dipodomys merriami insularis*. Los datos fueron obtenidos de 197 madrigueras y 319 sitios donde se capturaron las ratas canguro.

Especie de vegetación leñosa	Madrigueras donde se encontró (#)	Proporción de madrigueras respecto al total	Sitios de captura donde se encontró (#)	Proporción de sitios de capturas respecto al total
<i>Adelia virgata</i>	10	0.05	12	0.04
<i>Antigonon leptopus</i>	6	0.03	12	0.04
<i>Atamisquea marginata</i>	1	0.01	2	0.01
<i>Bursera microphylla</i>	22	0.11	35	0.11
<i>Cercidium peninsulare</i>	78	0.40	105	0.33
<i>Condalia globosa</i>	2	0.01	2	0.01
<i>Cyrtocarpa edulis</i>	27	0.14	50	0.16
<i>Esenbeckia flava</i>	36	0.18	47	0.15
<i>Fouquieria diguetii</i>	52	0.26	51	0.16
<i>Haplopapus sonorensis</i>	1	0.01	4	0.01
<i>Hyptis laniflora</i>	3	0.02	7	0.02
<i>Jatropha cinerea</i>	114	0.58	122	0.38
<i>Jatropha cuneata</i>	5	0.03	9	0.03
<i>Lycium</i> sp.	60	0.30	75	0.24
<i>Maytenus phyllanthoides</i>	9	0.05	11	0.03
Ni1	0	0.0	2	0.01
Ni2	0	0.0	2	0.01
<i>Olnya tesota</i>	33	0.17	46	0.14
<i>Opuntia cholla</i>	44	0.22	57	0.18
<i>Opuntia</i> sp.	0	0.0	1	0.00
<i>Pachycereus pringlei</i>	34	0.17	49	0.15
<i>Ruellia californica</i>	10	0.05	16	0.05
<i>Simmondsia chinensis</i>	72	0.37	81	0.25
<i>Stenocerus gummosus</i>	98	0.50	108	0.34
<i>Stenocerus thurbei</i>	7	0.04	25	0.08
<i>Viscainoa geniculata</i>	1	0.01	4	0.01

*Ni1 y Ni2, son especies no identificadas.

Tabla VIIa. Estimaciones de la abundancia y valores de importancia de las especies de vegetación con una altura menor a 2.5 metros. Cob. Abs.: Cobertura absoluta en m². Cob.Rel.: Cobertura relativa. Frec.Abs.: Frecuencia absoluta. Frec.Rel.: Frecuencia relativa. V.I.: Valor de importancia.

Especies	Cob.Abs.	Cob.Rel.	Frec.Abs.	Frec.Rel.	V.I.
<i>Ad.vi.</i>	30.93	0.02	0.83	0.17	0.18
<i>An.le.</i>	136.25	0.07	1.58	0.32	0.39
<i>At.ma.</i>	41.83	0.02	0.75	0.15	0.17
<i>Ce.pe.</i>	11.16	0.01	0.50	0.10	0.11
<i>Co.gl.</i>	22.93	0.01	0.17	0.03	0.05
<i>Co.vi.</i>	5.01	0.00	0.08	0.02	0.02
<i>Cy.ed.</i>	64.91	0.04	0.33	0.07	0.10
<i>Es.fl.</i>	52.88	0.03	1.42	0.28	0.31
<i>Fo.di.</i>	58.85	0.03	1.00	0.20	0.23
<i>Ha.so.</i>	1.41	0.00	0.17	0.03	0.03
<i>Hy.la.</i>	25.45	0.01	0.50	0.10	0.11
<i>Ja.ci.</i>	152.62	0.08	5.00	1.00	1.08
<i>Ja.cu.</i>	0.21	0.00	0.08	0.02	0.02
<i>Jo.te.</i>	17.25	0.01	0.50	0.10	0.11
<i>Ly.sp.</i>	128.13	0.07	4.33	0.87	0.94
<i>Ma.ph.</i>	187.96	0.10	1.75	0.35	0.45
<i>Op.ch.</i>	47.62	0.03	1.83	0.37	0.39
<i>Op.sp.</i>	2.54	0.00	0.08	0.02	0.02
<i>Pa.pr.</i>	0.89	0.00	1.25	0.25	0.25
<i>Ph.di.</i>	1.12	0.00	0.08	0.02	0.02
<i>Ru.ca.</i>	40.77	0.02	0.75	0.15	0.17
<i>Si.ch.</i>	192.67	0.11	3.42	0.68	0.79
<i>St.gu.</i>	594.37	0.33	6.42	1.28	1.61
<i>St.th.</i>	0.04	0.00	0.17	0.03	0.03
<i>Vi.ge.</i>	1.13	0.00	0.08	0.02	0.02

En cuanto a los valores de importancia para las especies de vegetación con una altura mayor a los 2.5 m variaron entre 0.02 y 1.62 (Tabla VIIb). Las especies con menor valor de importancia fueron el palo San Juan (*Formacheria watsoni*), la pimientilla (*Adelia virgata*), palo negro (*Condalia globosa*) y el jaiven (*Atamisquea marginata*, V.I. = 0.02

para las cuatro especies). Las especies con mayor valor de importancia fueron en orden descendente el lomboy (*Jatropha cinerea*, V.I. = 1.62), el palo Adán (*Foqueria digueti* V.I. = 1.12) y el palo verde (*Cercidium peninsulare*, V.I. = 1.11).

Tabla VIIIb. Estimaciones de la abundancia y valor de importancia de las especies de vegetación con una altura mayor a los 2.5 metros. Cob.Abs.: Cobertura absoluta en m². Cob.Rel.: Cobertura relativa. Frec.Abs.: Frecuencia absoluta. Frec.Rel.: Frecuencia relativa. V.I.: Valor de importancia.

Especie	Cob.Abs.	Cob.Rel.	Frec.Abs.	Frec.Rel.	V.I.
<i>Fo.di</i>	1442.71	0.17	4.75	0.95	1.12
<i>Ol.te.</i>	1185.63	0.14	2.58	0.52	0.65
<i>Ce.pe.</i>	2222.30	0.26	4.25	0.85	1.11
<i>Pa.pr.</i>	136.45	0.02	4.58	0.92	0.93
<i>Op.ch.</i>	89.80	0.01	1.08	0.22	0.23
<i>Ly.sp.</i>	55.35	0.01	0.58	0.12	0.12
<i>Ja.ci.</i>	1497.57	0.17	7.25	1.45	1.62
<i>Es.fl.</i>	84.89	0.01	1.17	0.23	0.24
<i>St.gu.</i>	29.96	0.00	0.25	0.05	0.05
<i>St.th.</i>	226.16	0.03	1.00	0.20	0.23
<i>Cy.ed.</i>	807.30	0.09	2.25	0.45	0.54
<i>At.ma.</i>	11.34	0.00	0.08	0.02	0.02
<i>Co.gl.</i>	13.95	0.00	0.08	0.02	0.02
<i>Ad.vi.</i>	4.40	0.00	0.08	0.02	0.02
<i>Vi.ge.</i>	24.96	0.00	0.25	0.05	0.05
<i>Co.vi.</i>	96.15	0.01	0.42	0.08	0.09
<i>Hy.la.</i>	132.56	0.02	0.33	0.07	0.08
<i>Fo.wa.</i>	27.33	0.00	0.08	0.02	0.02
<i>Bu.mi.</i>	543.67	0.06	1.75	0.35	0.41

De acuerdo con las matrices de correlación entre las variables de la diversidad de especies vegetales y la frecuencia de madrigueras en los cuadrantes de una hectárea, se encontraron correlaciones significativas sólo en la vegetación con una altura mayor a los 2.5 m (Tabla VIII). El número de madrigueras de *D. m. insularis* estuvo correlacionado de forma positiva con la riqueza de especies vegetales de los cuadrantes analizados ($F = 5.04$, $r = 0.6$, $P = 0.004$; Fig. 11a). Asimismo, se encontró que entre el número de madrigueras estuvo correlacionado con el índice de equidad de Pieluo en la vegetación ($F = 7.7$, $r = 0.7$, $P = 0.02$; Fig. 11b). No se encontraron relaciones entre el número de madrigueras y la cobertura o altura de la vegetación para ninguna de las dos categorías (con altura menor a 2.5 m y mayor a 2.5 m).

Tabla VIII. Matriz de correlación entre las variables de los índices de diversidad de especies vegetales y la estructura vegetal (cobertura y altura) con el número de individuos y madrigueras encontrados en los cuadrantes de una hectárea donde fue muestreada la vegetación. *R* representa el factor de correlación entre las variables analizadas. *Las correlaciones fueron significativas a una $P < 0.05$.

Vegetación < 2.5 m	# de reatas canguro capturadas <i>R</i>	# de madrigueras encontradas <i>R</i>
Cobertura vegetal	-0.17	-0.11
Altura	0.00	0.23
Riqueza de especies	0.13	0.21
Shannon-Wiener (H)	-0.07	0.21
Simpson (D)	0.23	0.02
Equidad (E)	-0.21	0.002
Vegetación > 2.5 m		
Cobertura vegetal	-0.25	0.12
Altura	0.13	0.37
Riqueza de especies	-0.14	0.58*
Shannon-Wiener (H)	-0.52	-0.17
Simpson (D)	-0.51	-0.31
Equidad (E)	-0.42	-0.66*

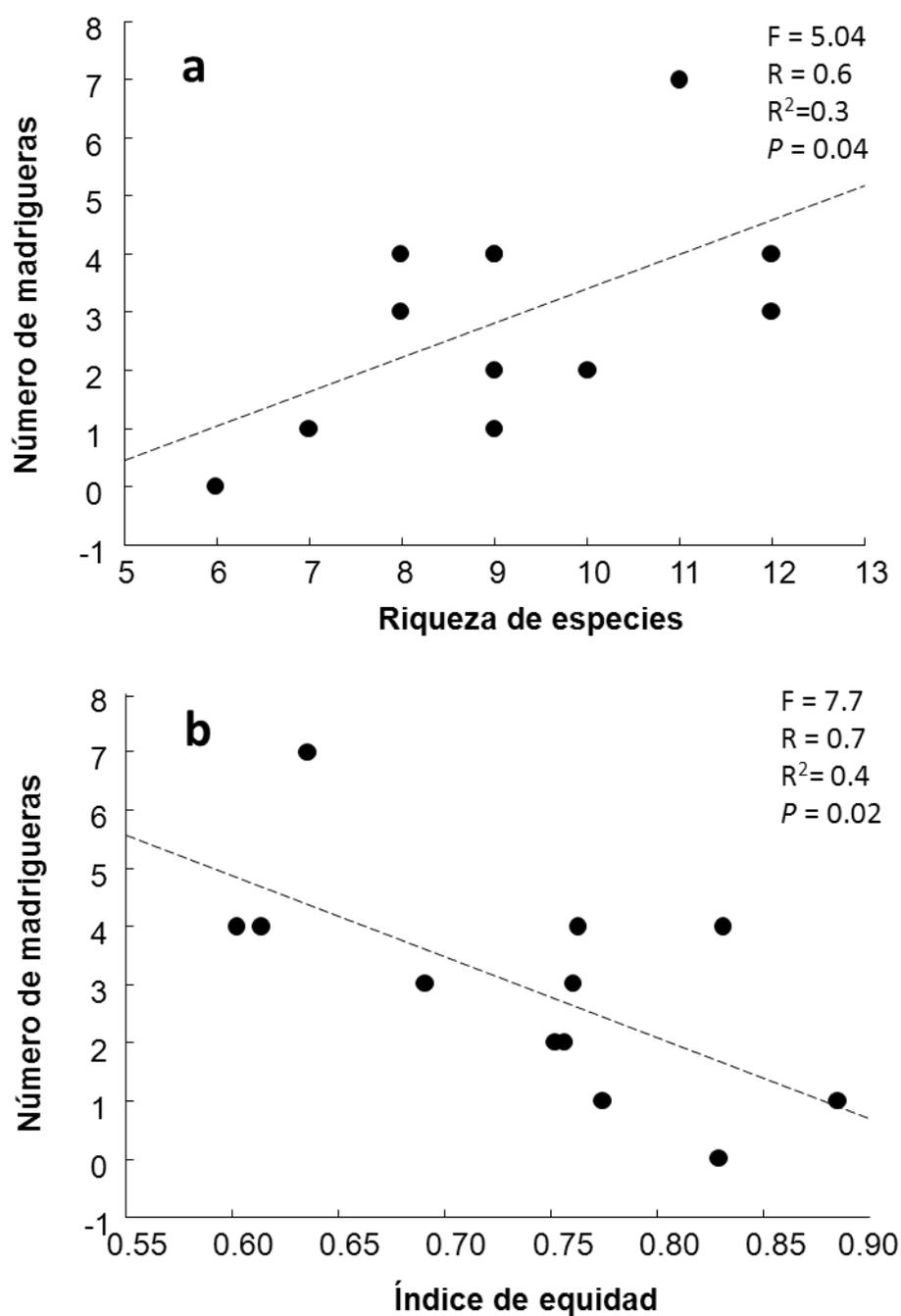


Figura 11. Relaciones entre la riqueza de especies vegetales en la categoría de vegetación mayor a 2.5m y el número de madrigueras (a) y entre el índice de equidad de especies vegetales en la categoría de vegetación mayor a 2.5m y el número de madrigueras (b).

7.3 Factores que influyen el patrón de uso y proximidad espacial entre madrigueras de *Dipodomys merriami insularis*

Del total de individuos capturados durante el período de muestreo marzo-mayo, se identificaron las madrigueras del 81 % de las hembras (69 individuos) y el 78 % de los machos (73 individuos). En el período de muestreo octubre–noviembre, se identificaron las madrigueras del 93% de las hembras (82 individuos) y el 97 % de los machos (86 individuos). El número de madrigueras identificadas para cada individuo durante el período MM varió entre 1 y 7 en las hembras (mediana = 1) y de 1 a 4 en los machos (mediana = 1; Fig. 12). El número de madrigueras identificadas para los individuos capturados durante el período de ON varió entre 1 y 3 para ambos sexos (mediana = 1, en ambos casos; Fig. 12).

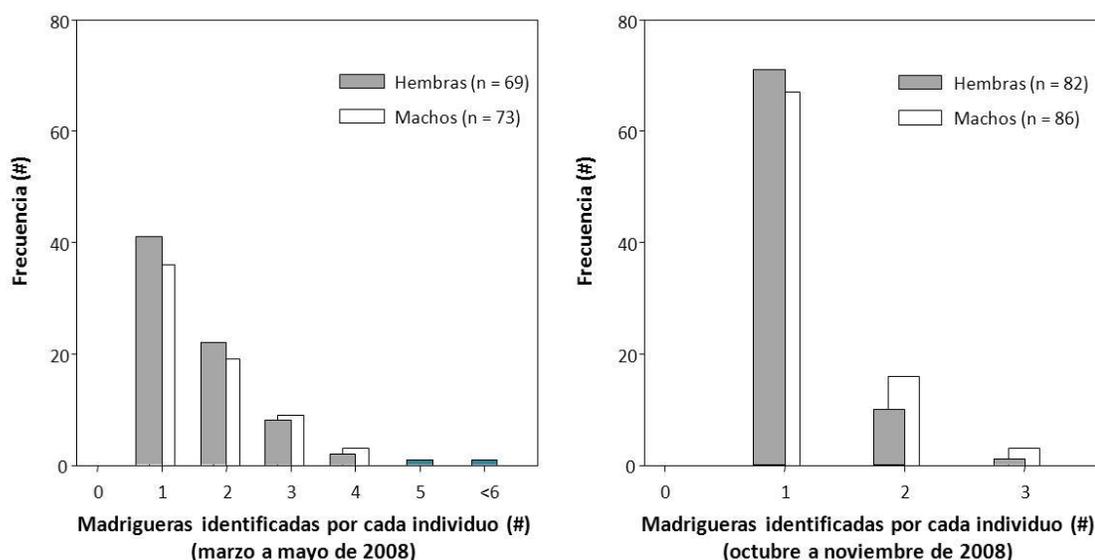


Figura 12. Frecuencia de madrigueras que fueron identificadas para cada individuo de *Dipodomys merriami insularis* durante el muestreo de marzo a mayo (izquierda) y octubre a noviembre (derecha) de 2008.

Durante el período de muestreo entre MM, de un total de 207 madrigueras encontradas (95 en las hembras y 112 en los machos), sólo en 19 madrigueras hubo dos ocupantes de una misma madriguera. En 11 de los casos, los dos ocupantes fueron individuos adultos del sexo opuesto. En las ocho restantes, los ocupantes fueron hembras

adultas con individuos sub adultos macho (en dos casos) o con individuos juveniles hembras y machos (en seis casos). Durante el período de ON, de un total de 277 madrigueras localizadas (153 en las hembras y 124 en los machos), sólo tres madrigueras fueron compartidas por dos individuos cada una. Los casos ocurrieron donde una hembra adulta compartió con un macho sub adulto, otro caso donde un macho adulto compartió con una hembra juvenil y en otro, dos individuos sub adultos del sexo opuesto ocuparon la misma madriguera.

En cuanto a la distancia entre madrigueras de un mismo individuo, en el período de muestreo de MM, a 49 individuos se les identificó más de una madriguera (21 hembras y 28 machos). La distancia promedio entre madrigueras de un solo individuo para las hembras fue 45.16 m (error estándar = 7.03 m) y para los machos de 81.5 m (error estándar = 15.36 m). Al comparar la distancia entre madrigueras de un mismo individuo entre hembras y machos, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($U = 189$, $P = 0.034$). Donde la distancia entre las madrigueras de los machos fue mayor a la encontrada en las hembras.

En el período de muestreo ON, a 27 individuos se les identificó más de una madriguera (13 hembras y 14 machos). La distancia promedio entre madrigueras en las hembras fue 494.5 m (error estándar = 77.65 m) y 256.7 m (error estándar = 34.64) en los machos. La distancia entre las madrigueras de las hembras fue significativamente ($U = 41$, $P = 0.014$) mayor a la encontrada en los machos.

En cuanto a la distancia entre las madrigueras localizadas durante el período de muestreo de MM y las localizadas en el período de ON de cada individuo, el promedio de dicha distancia fue 65.6 m ($n = 39$, error estándar = 8.66). En las hembras, el promedio de la distancia entre las madrigueras de un mismo individuo identificadas durante los dos períodos de muestreo fue 54.78 m ($n = 21$, error estándar = 8.18) y para los machos fue 78.13 m ($n = 18$, error estándar = 15.95). Las diferencias en las distancias entre madrigueras de los mismos individuos capturados en los dos períodos de muestreo no fueron estadísticamente significativas ($U = 149$, $P = 0.28$).

Respecto al análisis de la distribución espacial de las madrigueras se encontraron agrupaciones significativas en el área muestreada. Durante el período de muestreo de MM ($n = 138$, $R = 0.2$, $z = 17.95$, $ri = 0.01$) y ON ($n = 158$, $R = 0.21$, $z = 18.48$, $ri = 0.01$) el patrón de distribución de madrigueras para ambos sexos fue agregado.

En relación a los factores que influyen sobre el uso de las madrigueras, la clase de edad, el período de muestreo y la frecuencia de capturas ejercieron efectos significativos sobre el número de madrigueras usadas por los individuos (GLM: $n = 300$, $P = 0.016$; Tabla IX).

Tabla IX. Resumen del modelo lineal generalizado (con distribución de Poisson) calculado para examinar el efecto del sexo, la categoría de edad, período de muestreo y la frecuencia de capturas sobre el número de madrigueras usadas en *Dipodomys merriami insularis*.

Variable	Desviación	Grados de libertad	<i>P</i>
Sexo	0.69	1	0.401
Edad	6.27	2	0.043
Período de muestreo	5.69	1	0.016
Capturas	22.45	2	<0.0001
Sexo \times período de muestreo	1.52	1	0.216

Los individuos en las categorías “media” y “alta” de capturas usaron más madrigueras que aquellos de la categoría “baja”. También se encontró que los individuos adultos usaron más madrigueras que los sub-adultos y más madrigueras fueron asignadas a cada individuo durante el período de MM (Fig. 13).

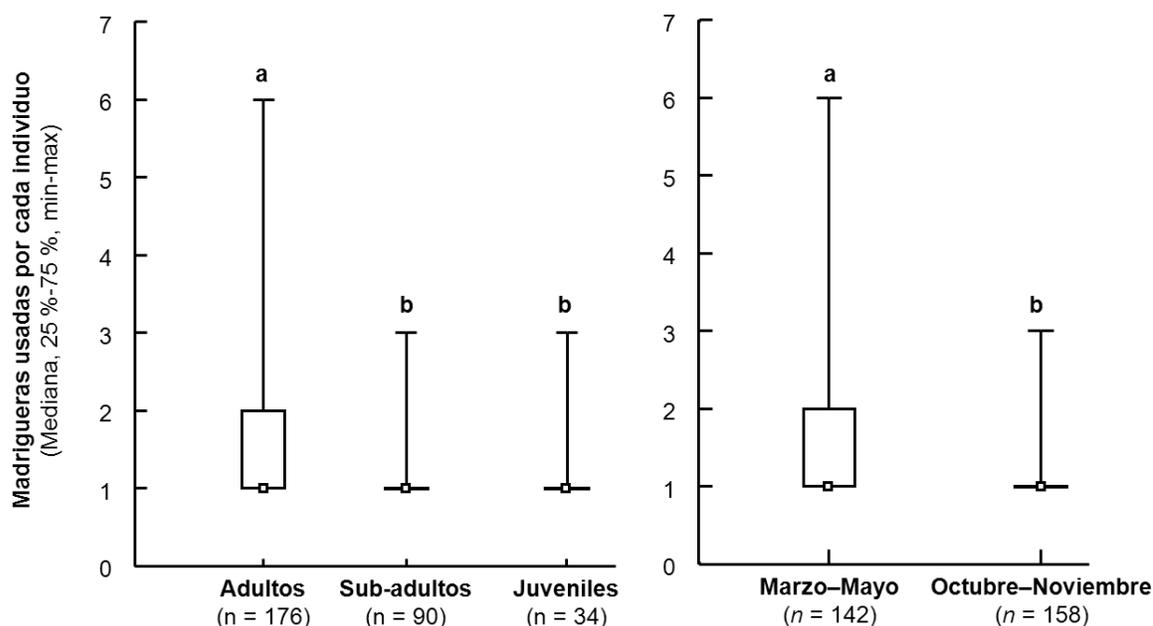


Figura 13. Efecto de la clase de edad (izquierda) y el periodo de muestreo (derecha) sobre el número de madrigueras usadas por los individuos de *Dipodomys merriami insularis*. Los períodos de muestreo se realizaron durante marzo-mayo y octubre-noviembre. Las letras diferentes significan que hubo diferencias significativas ($P < 0.05$).

Respecto al patrón de proximidad espacial entre las entradas principales para vecinos más próximos, los resultados son mostrados en la Tabla X. Durante el período MM, la distancia entre madrigueras de individuos del sexo opuesto fue significativamente menor que la distancia entre madrigueras de individuos del mismo sexo, en ambos sexos ($n = 443$, $H = 34.5$, $P < 0.0001$). En el período de ON, los pares de madrigueras de los individuos del sexo opuesto estuvieron significativamente más cerca que las de los pares de macho-macho, pero no que de los pares hembra-hembra ($n = 443$, $H = 34.5$, $P < 0.0001$).

Tabla X. Promedio de la distancia del vecino más cercano entre pares de madrigueras para las categorías de hembras-hembras, machos-machos y hembras-machos, de todos los individuos capturados durante el período de marzo-mayo y octubre-noviembre. n tamaño de la muestra; EE, error estándar. Las letras diferentes como superíndices en los valores de la media significa que hubo diferencias significativas en cada período de muestreo (fue usada una prueba de *Dunn* para probar diferencias entre pares con una $P < 0.05$).

Pares de individuos	Marzo-mayo			Octubre-noviembre		
	n	media (m)	EE	n	media (m)	EE
Todos los individuos	133	37.7	1.9	161	42.3	1.3
Hembra-hembra	67	58.1 ^a	2.5	84	60.6 ^{ab}	3.1
Macho-macho	66	58.5 ^a	3.1	77	60.5 ^a	2.8
Hembra-macho	67	40.5 ^b	4.3	84	48.8 ^b	2.3

En relación al patrón de relación espacial entre madrigueras de individuos del mismo sexo respecto al sexo opuesto se encontró que la clase de edad tuvo un efecto significativo sobre el índice de distancia analizado (GLM: $n = 294$, $P = 0.018$; Tabla XI). Los adultos desplegaron un índice de distancia más alto que los individuos sub-adultos ($P = 0.041$). El período de muestreo y la interacción de la clase de edad por el período de muestreo no tuvieron un efecto significativo sobre el índice de distancia ($P = 0.3$ y $P = 0.8$, respectivamente).

Tabla XI. Resumen del modelo lineal generalizado (con distribución de Gamma) calculado para examinar el efecto del sexo, la categoría de edad y el período de muestreo sobre el índice de distancia (distancia entre pares de madrigueras de individuos del mismo sexo dividido por la distancia entre pares de madrigueras de individuos del sexo opuesto) para madrigueras de vecinos más cercanos en *Dipodomys merriami insularis*.

Variable	Desviación	Grados de libertad	P
Edad	3.2	2	0.02
Período de muestreo	0.4	1	0.32
Edad \times Período de muestreo	0.08	2	0.89

7.4 Patrón de distribución espacial de la comunidad de roedores alrededor de las madrigueras de *Dipodomys merriami insularis*

Durante todo el estudio se capturaron un total de cuatro especies de roedores *Dipodomys merriami insularis*, *Chaetodipus spinatus bryanti*, *Neotoma bryanti bryanti* y *Peromyscus fraterculus cinereus*. El número total de individuos capturados durante el período de muestreo MM fue de 1,476 y para el de ON de 1,574. Para ambos períodos de muestreo, las especies más frecuentemente capturadas fueron: *C. spinatus* (MM = 78%, ON = 79%), seguido por *D. merriami* (MM = 12%, ON = 11%), *P. fraterculus* (MM = 9%, ON = 10%) y *N. bryanti* (MM = 0.9%, ON = 0.1%).

Las características reproductivas que fueron encontradas en la comunidad de roedores muestreados son mostradas en la Tabla XII. La comparación de la proporción de hembras adultas reproductivas de *D. m. insularis* mostró un decremento significativo del período MM al de ON ($\chi^2 = 11.1$, $P = 0.0001$). La disminución en la proporción de individuos juveniles de esta misma especie se aproximó al nivel de significancia ($\chi^2 = 2.8$, $P = 0.09$).

Tabla XII. Número de individuos de *Dipodomys merriami*, *Chaetodipus spinatus*, *Peromyscus fraterculus*, y *Neotoma bryanti* capturados durante los periodos marzo–mayo y octubre –noviembre. La χ^2 compara la proporción de individuos reproductivos y juveniles entre los períodos de muestreo. $P < 0.05$. Los datos de *Neotoma bryanti* no fueron comparados estadísticamente.

Especies	Marzo-Mayo		Octubre-Noviembre		χ^2	P
	Individuos capturados	Proporción de individuos reproductivos o juveniles	Individuos capturados	Proporción de individuos reproductivos o juveniles		
<i>D. merriami</i>						
Hembras adultas	70	35.7%	83	8.4%	11.1	0.0001
Machos adultos	83	97.6%	79	78.9%	0.9	0.34
Juveniles	28	15.5%	16	8.9%	2.8	0.09
Total	181		178			
<i>C. spinatus</i>						
Hembras adultas	447	38.5%	263	8.0%	85.8	0.0001
Machos adultos	688	84.5%	368	3.5%	228.3	0.0001
Juveniles	174	13.5%	604	49.1%	199.3	0.0001
Total	1309		1235			
<i>P. fraterculus</i>						
Hembras adultas	43	67.5%	59	27.1%	6.2	0.01
Machos adultos	52	86.5%	4	5.5%	35.5	0.0001
Juveniles	32	25.4%	55	30.2%	0.4	0.5
Total	127		186			
<i>N. bryanti</i>						
Hembras adultas	8	25.0%	2	50.0%	---	---
Machos adultos	1	0%	0	0%	---	---
Juveniles	4	30.8%	0	0%	---	---
Total	13		2			

La proporción de machos adultos con los testículos descendidos al escroto no mostró diferencias significativas entre los períodos de muestreo. Sin embargo, la longitud promedio de los testículos de los individuos capturados durante el período de MM tuvo un promedio de 16.59 mm (error estándar = 0.28) mientras que los mismos individuos

capturados durante el período de ON tuvieron un promedio de 13.25 mm (error estándar = 0.37). Las diferencias en el promedio de los testículos de los individuos capturados durante el período de MM y los del período de ON, fueron estadísticamente significativas (t para medidas repetidas = 6.78, $n = 23$, $P = 0.000001$; Fig. 14).

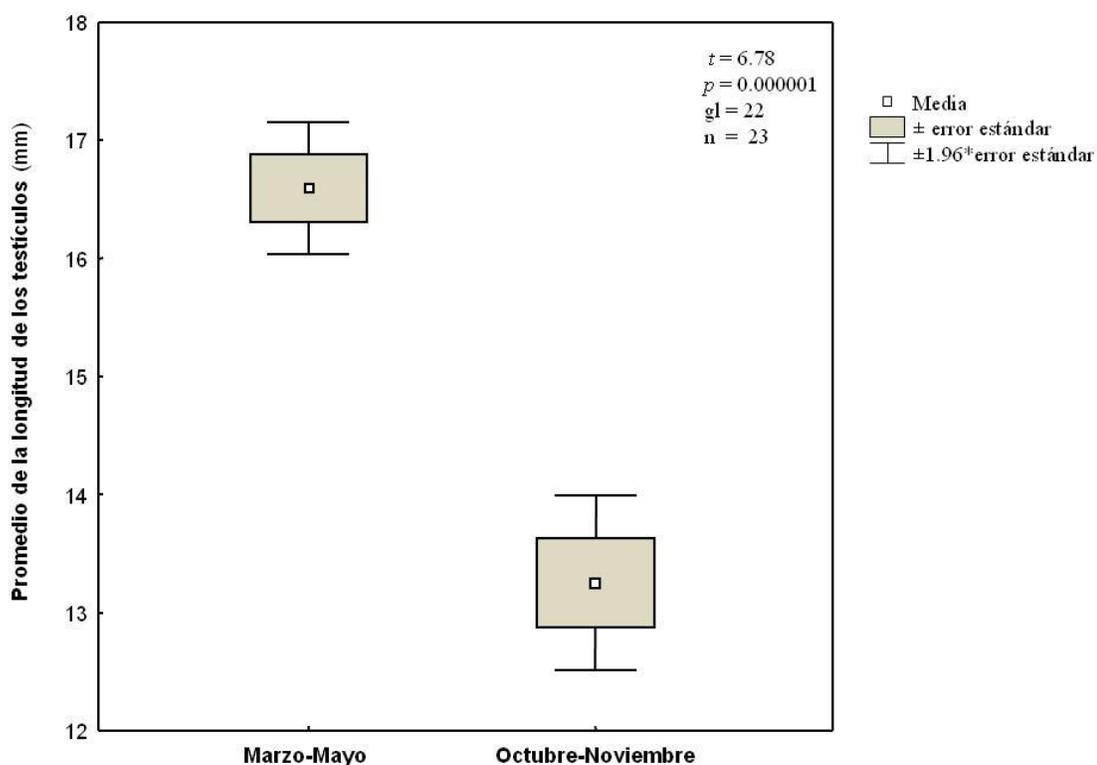


Figura 14. Comparación del promedio de la longitud de los testículos en machos adultos de *Dipodomys merriami insularis* capturados durante el período de muestreo de marzo a mayo y recapturados en el período de octubre-noviembre. Se empleó una t -test de medidas repetidas.

Algo similar ocurrió para las especies de *C. spinatus* y *P. fraterculus* donde la proporción de hembras y machos adultos reproductivos disminuyó significativamente del período MM al de ON.

Respecto al patrón de distribución espacial, durante el período de muestreo de MM, los sitios de captura mostraron un patrón agregado para las especies *D. m. insularis* ($n =$

171, $R = 0.22$, $z = 19.51$, $ri = 0.012$), *N. lepida* ($n = 10$, $R = 0.04$, $z = 5.8$, $ri = 0.006$) y *P. fraterculus* ($n = 122$, $R = 0.17$, $z = 17.4$, $ri = 0.0084$). La distribución espacial de los sitios de captura de *C. spinatus* no fue diferente significativamente de una distribución aleatoria ($n = 1154$, $R = 0.44$, $z = 35.9$, $ri = 0.07$). La distribución espacial durante el período de ON mostró un patrón similar a lo antes descrito. Un patrón de distribución espacial agregado fue encontrado en *D. m. insularis* ($n = 176$, $R = 0.22$, $z = 19.7$, $ri = 0.01$) y para *P. fraterculus* ($n = 153$, $R = 0.19$, $z = 19.1$, $ri = 0.01$). Para *C. spinatus* el patrón de distribución no fue diferente significativamente del patrón de distribución aleatorio ($n = 1,221$, $R = 0.51$, $z = 32.14$, $ri = 0.07$). El análisis para determinar el patrón de distribución para *N. lepida* no fue realizado debido a que sólo se capturaron dos individuos.

El análisis de la distancia más cercana entre las madrigueras de las ratas canguro y los sitios de captura para los individuos de cada especie de roedor mostró que los individuos de *D. merriami* fueron capturados a una distancia media de $13.3 \text{ m} \pm 0.9$ ($n = 124$) durante el periodo MM y de $20.2 \text{ m} \pm 1.0$ ($n = 132$) durante el periodo ON. Los individuos de *C. spinatus*, por su parte, fueron capturados a una distancia media de $14.4 \text{ m} \pm 0.5$ ($n = 182$) y $17.1 \text{ m} \pm 0.6$ ($n = 191$) en ambos períodos respectivamente. Los individuos de *P. fraterculus*, por su parte, se capturaron a $30.4 \text{ m} \pm 2.1$ ($n = 94$) y $37.0 \text{ m} \pm 3.1$ ($n = 96$) en ambos períodos respectivamente. Por último, los individuos de *N. bryanti* se capturaron a $47.4 \text{ m} \pm 8.6$ ($n = 11$) y $4.9 \text{ m} \pm 1.7$ ($n = 2$), respectivamente.

Respecto a los factores que pueden estar influenciando la proximidad de ser capturados cerca de las madrigueras de las ratas canguro, se encontró que las variables, sexo y período de captura fueron variables que explicaron la varianza de los datos (Tabla XIII).

Tabla XIII. Resumen del modelo lineal generalizado (con distribución de Gamma) calculado para examinar el efecto de las especies, el período de muestreo y el sexo de las ratas canguro sobre la distancia entre la localización de la madriguera principal de *Dipodomys merriami insularis* y los sitios de captura de individuos de *Dipodomys merriami insularis*, *Chaetodipus spinatus* y *Peromyscus fraterculus*.

Variable	Desviación	Grados de libertad	<i>P</i>
Especies	89.2	2	<0.0001
Sexo	1.1	1	0.09
Período de muestreo	12.9	1	<0.0001
Especies × Sexo	3.1	2	0.02
Especies × Período de muestreo	2.5	2	0.03
Sexo × Período de muestreo	1.7	1	0.03
Especies × Sexo × Período de muestreo	0.3	2	0.70

Los individuos de *C. spinatus* fueron capturados más cerca de las madrigueras de las ratas canguro que los individuos de *D. merriami* y *P. fraterculus*, así como los individuos de *D. merriami* fueron capturados más cerca de las madrigueras que los individuos de *P. fraterculus* (Fig. 15a). Las distancias entre los sitios de captura de todos los roedores y las madrigueras de las ratas canguro incrementaron significativamente del período MM al de ON (Tabla XIII).

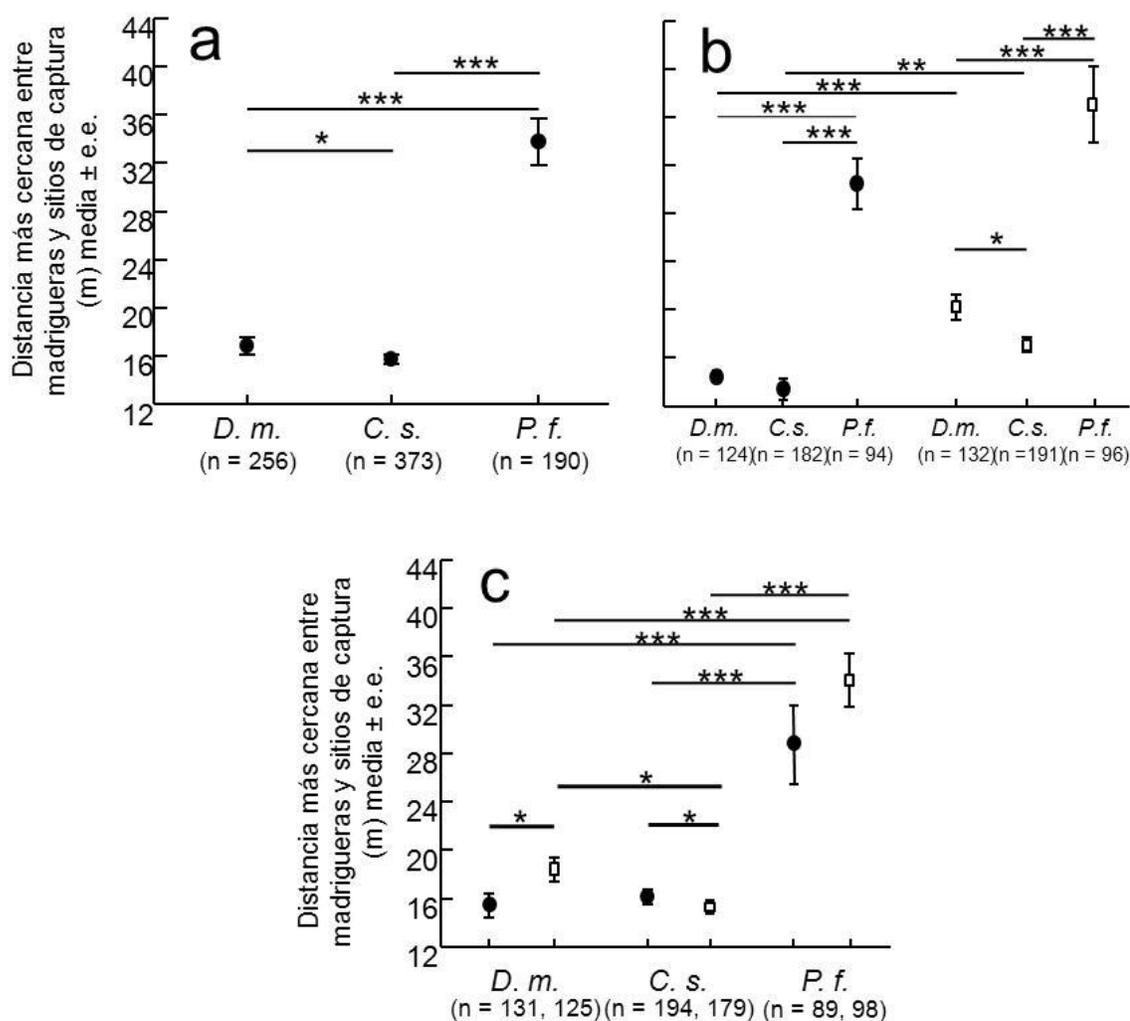


Figura 15. Distancia más cercana entre las madrigueras de las ratas canguro y los sitios de captura de *Dipodomys merriami* (*D.m.*), *Chaetodipus spinatus* (*C.s.*), y *Peromyscus fraterculus* (*P.f.*) son comparados: a) Entre especies. b) Entre especies capturadas durante el periodo de marzo-mayo (círculos negros) y el de octubre-noviembre (cuadros blancos) y c) Entre especies capturadas cerca de las madrigueras de las hembras de las ratas canguro hembras (círculo negro) y los machos (cuadros blancos). $P < 0.05 = *$, $P < 0.001 = **$, $P < 0.0001 = ***$

Las distancias entre las madrigueras de las ratas canguro y los sitios de captura de los individuos de la comunidad de roedores fue también influenciada por una interacción significativa entre las variables “especies” x “período de muestreo” (Tabla XIII). Los individuos de *C. spinatus* fueron capturados más cerca de las madrigueras de *D. merriami*

que *P. fraterculus* durante ambos períodos de muestreo ($P < 0.0001$) y más cerca que los individuos de *D. merriami* en el período de ON ($P = 0.005$). Por otro lado, los individuos de *D. merriami* fueron capturados más cerca a madrigueras de conspecíficos que los individuos de *P. fraterculus* durante los dos períodos de muestreo (en ambos casos $P < 0.0001$). Asimismo, la distancia media entre las madrigueras de las ratas canguro y los sitios de captura de *C. spinatus* y *D. merriami* incrementó significativamente del período MM al de ON (en ambos casos $P < 0.001$; Fig. 15b).

La interacción de las variables “especie” x “sexo” también influyó significativamente a la distancia entre madrigueras de *D. merriami* y los sitios de captura de los individuos de la comunidad de roedores (desviación = 3.1, g. l. = 2, $P = 0.002$, Tabla XIII). Los individuos de *D. merriami* fueron capturados más cerca a madrigueras de sus conspecíficos cuando pertenecieron a las hembras que cuando pertenecieron a los machos ($P = 0.02$), mientras que los individuos de *C. spinatus* fueron capturados más cerca a las madrigueras de los machos de las ratas canguro que cuando pertenecieron a las hembras ($P < 0.006$). La distancia media más cercana entre la ubicación de las madrigueras perteneciendo a las hembras y los machos de las ratas canguro y los sitios de captura de *P. fraterculus* fue significativamente más larga que aquella de *D. merriami* y *C. spinatus* (en ambos casos $P < 0.0001$; Fig. 15c).

La interacción de las variables “período de captura” x “sexo” también influyó la distancia entre madrigueras de las ratas canguro y los sitios de captura de los individuos de la comunidad de roedores (Tabla II). Los individuos de la comunidad de roedores combinados fueron capturados más cerca de las madrigueras de las ratas canguro perteneciendo a las hembras que a los machos, en particular durante el periodo MM. Asimismo, la distancia media de todos los individuos capturados más cerca de las madrigueras de las ratas canguro perteneciendo a las hembras y a los machos incrementó significativamente del período MM al de ON.

8. DISCUSIÓN

En el presente estudio se analizaron los factores que pueden influir sobre la distribución de las madrigueras de *D. m. insularis*, el patrón de la relación espacial que hay entre las madrigueras y la relación entre la distribución de las madrigueras y la de los roedores capturados alrededor de las madrigueras de las ratas canguro. Para ello se evaluó si la distribución de las madrigueras responde a la heterogeneidad de la distribución de las características de la vegetación en la zona muestreada, el patrón de distancia entre las madrigueras de los vecinos más cercanos en relación al sexo de los individuos y el período de muestreo. Así como el patrón de proximidad entre la localización de las madrigueras de las ratas canguro y los sitios de captura de los roedores capturados alrededor de las madrigueras.

De manera general se encontró que: 1) Las madrigueras de las ratas canguro se distribuyen de manera heterogénea en la zona de estudio en relación a las características del micro-hábitat. 2) La relación espacial entre madrigueras refleja que individuos del sexo opuesto están más cerca que los del mismo sexo, y este patrón varía con la categoría de edad y la estación reproductiva. Asimismo, se encontró que 3) La distribución de la comunidad de roedores capturados alrededor de las madrigueras de las ratas canguro hembras es distinta a la encontrada alrededor de los machos y dicho patrón parece variar con la actividad reproductiva de *D. m. insularis*.

El presente estudio fue basado sobre un método de muestreo de captura-marcaje-recaptura. En este estudio se observó que la tasa de captura tuvo una reducción del 21.1% para individuos juveniles y de 38.8% para los adultos entre los períodos de muestreo, así como un incremento del 23.7 % para los adultos. La tasa de recaptura media fue menor al 33.1%, lo cual sugiere una alta mortalidad y/o emigración de los individuos. Por lo tanto, los patrones observados dependientes al número de capturas pueden ser influenciados por la baja eficiencia de captura.

8.1 Descripción de parámetros de la estructura poblacional de *Dipodomys merriami insularis*

Las capturas de las diferentes proporciones de individuos de *D. merriami insularis* variaron en relación a los períodos de captura y categoría de edad. Existió una mayor proporción de individuos adultos en relación a una baja proporción de sub-adultos y juveniles durante el primer período de muestreo fue como se esperaba, considerando que la reproducción puede ocurrir un poco antes de la fecha en que se realizó el muestreo (MM).

Así mismo, el incremento en la proporción de individuos sub-adultos y juveniles capturados durante el segundo período, coincide con la posible descendencia producida en el primer período de muestreo. La disminución del número de individuos adultos en segundo período de muestreo podría ser explicado en el contexto de una elevada tasa de mortalidad en los adultos, o bien, por un elevado proceso de dispersión de los individuos.

En otras poblaciones de *D. merriami*, los individuos alcanzan longevidades de al menos 3.5 años (Zeng y Brown, 1987). Se infiere que los individuos de *D. m. insularis* deberían tener longevidades al menos similares a las de otras poblaciones de su misma especie, o mayores, como se ha sido encontrado en otras especies de roedores insulares (Adler y Levins, 1994). Por su parte, un elevado proceso de dispersión facultativo en individuos adultos (hasta el 75 % en los machos y el 59 % en las hembras) ha sido registrada para *D. merriami* (Zeng y Brown, 1987), por lo que el alto proceso de dispersión en *D. m. insularis* puede ser una explicación a la baja tasa de captura de adultos en el segundo período de muestreo.

En la población de *D. m. insularis* las hembras y los machos, tuvieron una proporción de sexos de 1:1 para todas las categorías de edades, capturados en ambos períodos de muestreo. Sólo al comparar la proporción de hembras y los machos, en los individuos sub-adultos capturados durante el período de MM, hubo un sesgo a favor de las hembras. Los resultados encontrados en el presente estudio difieren de los registros sobre la proporción de sexos en *D. merriami* en los que se registra un sesgo hacia los machos, debido a las mayores probabilidades de ser capturados a causa de tener mayor movilidad o ámbitos hogareños (Zeng y Brown, 1987).

En este estudio, el sesgo hacia las hembras se encontró en la categoría de edad de los sub-adultos en el primer período de muestreo, pero no se confirmó durante el segundo. El efecto observado se puede deber a la baja tasa de captura de individuos sub-adultos en el primer período de muestreo y el aumento de individuos capturados en el segundo, no permitió corroborar dicho patrón observado.

8.2 Características de la vegetación en la zona de estudio y su relación con la distribución de las madrigueras de *Dipodomys merriami insularis*

Se registraron 27 especies vegetales perennes (excepto por la enredadera *Antigonon leptopus*) asociadas al área de distribución de *D. m. insularis*. Esto representa un mayor número de especies que lo encontrado por Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda (2006), quienes reportan sólo 10. A diferencia del estudio anteriormente citado, la especie *Bursera hindsiana* no fue encontrada en el presente estudio. Eso puede deberse a que aquí se hizo una descripción no sólo de las especies de mayor abundancia en la zona muestreada..

La descripción de las especies vegetales para cada cuadrante evidenció que la distribución de la riqueza fue heterogénea en la zona de estudio. El número de especies vegetales varió entre los cuadrantes, de nueve hasta 19 especies y la mayor diversidad fue encontrada en los cuadrantes más próximos a la costa (cuadrantes 1, 5, 9) y hacia el sur del área de estudio (cuadrantes 10 y 12), como se observa en la Figura 4.

Los diferentes índices de diversidad de la vegetación evidenciaron una distribución heterogénea en la zona de estudio, tanto para las especies clasificadas con las dos tallas de altura. En la vegetación menor a los 2.5 m la riqueza de especies entre cuadrantes tuvo una variación de casi tres veces (de 6 a 17 especies). Valores también observados en los índices de diversidad (Shannon-Wiener, Simpson y equidad, Tabla IV). En los de talla mayor a 2.5 m de altura, los índices de diversidad variaron entre los cuadrantes en casi el doble (Tabla IV). Asimismo, los resultados de los índices de similitud, para todas las especies vegetales en general, también evidenciaron el grado de variación que hay entre los cuadrantes muestreados (Tabla VI), donde casi en el 50 % de los cuadrantes (5 cuadrantes) mostraron diferencias en más del 50% de las especies vegetales.

Los resultados de este estudio contrastan con lo publicado acerca de la diversidad de especies vegetales homogénea encontrada en los sitios donde fueron capturados los individuos de *D. m. insularis* en estudios previos (Espinoza-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006). Sin embargo, otras poblaciones de *D. merriami* son consideradas como generalistas en el uso de hábitat debido a que han sido encontradas en sitios con vegetación heterogénea (O'Farrell, 1980).

Algunos estudios que abordan el comportamiento de *D. spectabilis*, señalan evidencias de que los individuos también ocupan áreas con una composición heterogénea de especies vegetales (Amarasekare, 1994). Asimismo, la heterogeneidad de la vegetación del hábitat de *D. spectabilis* incluso puede variar a diferentes escalas, repercutiendo sobre la distribución a gran escala o local de los individuos (Amarasekare, 1994). Por lo tanto, la heterogeneidad de las especies vegetales de donde se encontró distribuida la población de *D. m. insularis* hace esperar una distribución de los individuos heterogénea a nivel local.

Aunado a lo anterior, se encontró que también varió entre los cuadrantes la estructura de la vegetación (excepto por la altura de la vegetación en la categoría mayor a los 2.5 m de altura). La heterogeneidad de la vegetación perenne se ha considerado que causa parches que influyen sobre el riesgo de depredación, en las características del suelo y sobre la disponibilidad de semillas disponibles para los heterómidos (Reichman y Price, 1993).

Asimismo, las diferencias en la estructura de vegetación de los sitios donde se ha encontrado a individuos de *D. spectabilis* han sido asociadas a cambios en el patrón de distribución local de esta especie (Amarasekare, 1994). En *D. merriami*, debido a que los individuos son granívoros, el tamaño de las semillas que seleccionan parece estar relacionado con la estructura de las plantas (Reynolds, 1958). Debido a que los individuos tienen dificultades para manipular semillas muy pequeñas, éstos dependen de plantas como las arbustivas que producen semillas grandes y que probablemente sean entre las más fáciles de coleccionar para las ratas (Reynolds, 1958).

D. merriami forrajea en sitios con semillas agregadas, cuya información sugiere que los individuos responden al patrón de distribución espacial de los recursos (Reichman y Oberstein, 1977). Por lo tanto, modificaciones en la estructura vegetal de esas plantas en el

área donde se distribuye *D. m. insularis* implican una heterogeneidad en la disponibilidad de recursos (de alimento y refugios) a la cual deben responder los individuos.

El estudio sobre la asociación de especies vegetales y los sitios de captura de *D. m. insularis* podría verse influenciado por el sesgo en la distribución de las trampas. Las trampas fueron colocadas en un transecto lineal, pero procurando ubicarlas cerca de vegetación para protegerlas del sol de la mañana, lo cual evitó la muerte de los individuos por insolación. Sin embargo, el patrón de asociación entre las especies vegetales y la ubicación de las madrigueras, no debería ser alterado por el sesgo en el método de trampeo.

Se encontraron 26 especies vegetales cerca de los sitios de captura y 23 de los sitios donde se ubicaron las madrigueras de *D. m. insularis*. Las especies vegetales más frecuentemente encontradas cerca de los sitios de captura y madrigueras correspondieron en su mayoría a las especies con el mayor valor de importancia, tanto de especies con una altura < 2.5 m como > 2.5 m.

Los sitios de captura y las madrigueras de *D. m. insularis* fueron asociados con las especies *Jatropha cinerea* y *Stenocercus gummosus* principalmente (Tabla VI). Estos resultados contrastaron con los reportes sobre la ausencia de capturas de esta sub-especie en sitios con altas densidades de pitahaya agria (*S. gummosus*; Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006). Sin embargo, el hábitat descrito para *D. m. insularis* incluyen a *J. cinerea* y *S. gummosus* entre las especies más comunes (Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006). Asimismo, otras poblaciones de *D. merriami* han sido encontradas en asociaciones vegetales en las que se incluyen al género *Jatropha*, es el caso de *D. m. margaritae* (Best, 1992) y *D. m. merriami* (González-Romero, 1995).

Las madrigueras fueron encontradas con mayor proporción cerca de las especies *J. cinérea* y *S. gummosus*. Los resultados también contrastaron con reportes previos donde se hace referencia a que la especie *B. microphylla* es la especie más importante cerca de las madrigueras de *D. m. insularis* (Espinoza-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006).

En este estudio, las madrigueras encontradas cerca de *B. microphylla* correspondieron a sólo el 11 %, lo cual contrasta con la proporción de madrigueras encontradas cerca de *J. cinerea* y *S. gummosus* las cuales correspondieron al 58 % y 50 % respectivamente. Se sabe que *D. merriami* a menudo forma sus madrigueras bajo la

protección de arbustos altos y colgantes (Reynolds, 1958). Una de las especies con esas características encontradas en este estudio fue *Cercidium peninsulare*, donde cerca del 40 % de las madrigueras se encontraron cerca de esta especie. Asimismo se encontró que el 30 % de las madrigueras estuvieron cerca de *Lycium sp.* Estos resultados fueron consistentes con los reportes sobre la asociación entre *Lycium sp.* y las madrigueras de otras poblaciones de *D. merriami* (Reynolds, 1958). Por lo tanto, la presencia de las madrigueras de la población de *D. m. insularis* parece responder hacia la presencia de especies arbustivas como ocurre en otras poblaciones de *D. merriami*.

Aunado a lo anterior, se encontró que hubo un mayor número de madrigueras conforme incrementó la riqueza de especies vegetales y una disminución del número de madrigueras conforme incrementa la equidad de la vegetación, sólo en la categoría > 2.5 m. La riqueza de especies mide el número de especies encontradas en la zona de muestreo mientras que la equidad mide si todas las especies fueron igual de abundantes en la zona (Krebs, 2001).

Las madrigueras de *D. m. insularis* están asociadas a sitios con más especies vegetales, pero con una abundancia heterogénea. Las especies de la categoría > 2.5 m, más abundantes como *J. cienerea*, *Fouquieria digueti* y *C. peninsulare*, también fueron de las especies más frecuentemente encontradas en las madrigueras (Tabla VI). Esas especies han sido también encontradas tanto en las madrigueras de otras poblaciones de *D. merriami* (Reynolds, 1958) como en sus hábitat (p. ej. *D. m. margaritae*, Best, 1992; *D. m. merriami*, González-Romero, 1995; *D. m. insularis*, Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006). Por lo tanto, el número de las madrigueras de *D. m. insularis* parecen estar respondiendo a la heterogeneidad de la vegetación en el área de estudio.

En el presente estudio se encontró que la vegetación muestra un patrón de distribución heterogéneo en la zona de estudio. Así mismo, se encontró que el número de las madrigueras de los individuos de *D. m. insularis* estuvo asociado a la heterogeneidad de la vegetación y la presencia de las madrigueras estuvieron asociadas a especies vegetales en particular. Estos resultados hacen suponer que la distribución de las madrigueras responde a la heterogeneidad del hábitat en su escala local. Por lo tanto, la información sobre cómo la vegetación participa en la distribución de las madrigueras de *D. m. insularis* permite

entender cómo una población de *D. merriami* responde a las condiciones ambientales en condiciones insulares. Asimismo dicha información es de utilidad para identificar la vegetación requerida para preservar ésta sub-especie la cual ha sido considerada en peligro de extinción.

8.3. Factores que influyen el patrón de uso y proximidad espacial entre madrigueras de *Dipodomys merriami insularis*

La caracterización del uso de las madrigueras por los individuos de *Dipodomys merriami insularis* (sensu Álvarez-Castañeda *et al.*, 2009) provee un entendimiento de la relación espacial entre los individuos. Los resultados aquí encontrados revelan que los miembros de esta subespecie típicamente usan 1-2 madrigueras diferentes, con una baja frecuencia de madrigueras compartidas y un patrón de distribución agregado. Los factores como la clase de edad, el periodo de muestreo y la frecuencia de capturas influenciaron al número de madrigueras usadas por los individuos. La organización espacial es caracterizada por el hecho de que las madrigueras de las ratas canguro del sexo opuesto están más cerca a cada otro que a los individuos del mismo sexo. Asimismo, la proximidad espacial entre madrigueras de vecinos más cercanos es influenciada por la clase de edad.

Este es el primer registro del número de madrigueras usadas por los individuos de *D. m. insularis* en Baja California. En la población estudiada, la frecuencia de madrigueras identificadas para cada individuo varió entre 1 y 7 en hembras y entre 1 y 4 en machos (para ambos sexos mediana = 1) durante el período de MM y entre 1 y 3 para ambos sexos (mediana = 1) durante ON. Estos resultados son consistentes con lo observado en *D. merriami* donde los individuos usan 1-2 madrigueras.

El número máximo de madrigueras por individuo reportado aquí es ligeramente más bajo que el mayor número de madrigueras (hasta ocho madrigueras) registrado para esta especie (Behrends *et al.*, 1986; Jones, 1989). Otras especies, como *D. spectabilis* (Jones 1984; Winters y Waser, 2003) y *D. ingens* (Cooper y Randall, 2007), usan de 1 a 3 madrigueras por individuo, similar a lo que aquí fue encontrado.

Los resultados muestran, similar a lo reportado para poblaciones de *D. merriami* (Randall, 1987, 1993), una baja frecuencia de madrigueras compartidas entre los individuos

adultos (individuos que entraron en una misma entrada principal de un sistema de madrigueras). La baja frecuencia de madrigueras compartidas entre individuos adultos (11 de 207 madrigueras identificadas durante MM) sugiere que, al igual que otras especies de *Dipodomys* (Jones, 1993; Randall, 1993), *D. m. insularis* muestra hábitos solitarios. La presencia de madrigueras compartidas entre individuos adultos fue durante el período donde los individuos se encontraron en estado reproductivo (hembras en estro y machos con testículos escrotados). La relativamente alta frecuencia de madrigueras compartidas por los adultos durante el período de MM podría ser explicado por el estado en el ciclo reproductivo de *D. m. insularis*. En poblaciones continentales de *D. merriami*, las hembras adultas comparten sus madrigueras con los machos con propósitos reproductivos (Randall, 1987, 1993).

En *D. spectabilis*, donde ambos sexos son altamente territoriales y las madrigueras son defendidas de sus conspecíficos, se sabe que durante la estación reproductiva las hembras relajan la defensa territorial para permitir las visitas de los machos (Randall, 1984, 1991). Se sospecha que este es también el caso en la población muestreada en este estudio. Por lo contrario, las madrigueras compartidas durante el período de ON, cuando fue encontrado que la actividad reproductiva había disminuido, pertenecieron a hembras adultas y a sus posibles crías (juveniles o sub-adultos), como ocurre en otros lugares en hembras de *D. merriami* (Zeng y Brown, 1987). En otras poblaciones *D. merriami*, se ha observado que las hembras adultas comparten las madrigueras con crías hasta por 18 meses (Jones, 1993). En este sentido, los patrones de relaciones de parentesco permitirían identificar si los individuos que compartieron madrigueras fueron familiares. En *D. spectabilis*, los análisis del parentesco han permitido identificar la relación espacial entre las madrigueras de las madres y sus crías, evidenciando no solo la organización espacial en el uso de madrigueras sino incluso el grado de filopatría y sesgos en la dispersión de los individuos (Waser y Elliot, 1991; Waser *et al.*, 2006; Waser y Dewoody, 2006).

La distancia entre madrigueras, aquí encontradas, de un mismo individuo varió de 45 a 81 m durante el período de MM para hembras y machos respectivamente mientras que durante el período de ON, de 494 a 256 m. Estos resultados contrastan con lo reportado para *D. merriami* donde la distancia entre madrigueras de un mismo individuo es de sólo 15

metros y no difiere entre sexos (Behrends *et al.*, 1986; Jones, 1993; Randall, 1993). Algunos registros en especies como *D. spectabilis* han evidenciado la presencia de camadas con padres separados por más de 250 m al emplear estudios moleculares, lo cual sugiere una movilidad mucho mayor a lo esperado para la especie (Waser *et al.*, 2006).

Los resultados muestran una probable elevada movilidad de los individuos de *D. m. insularis*, en particular de los individuos juveniles y sub-adultos. El incremento en la distancia entre madrigueras de *D. m. insularis* entre los dos períodos de muestreo y la elevada proporción de individuos juveniles y sub-adultos capturados en el segundo período de muestreo apoyan esta idea. Así mismo, diversos estudios sobre diferentes especies de *Dipodomys* reportan que individuos juveniles y sub-adultos se dispersan más que los adultos (Jones, 1989; Randall, 1993; Waser y Elliot, 1991; Waser *et al.*, 2006). Es probable que si los individuos juveniles y sub-adultos de *D. m. insularis* se encontraban dispersando, los sitios registrados como madrigueras de su propiedad fueran más bien sitios de tránsito y no para su establecimiento.

En este estudio se encontró que la distancia entre las diferentes madrigueras de un mismo individuo registradas en los dos períodos de muestreo promedió 54.8 metros en las hembras y 65.6 metros en los machos. Las diferencias no fueron estadísticamente significativas entre los dos sexos, pero sí mayores a lo encontrado en individuos de otras poblaciones de *D. merriami* (Jones, 1993). Los individuos capturados tanto durante MM como ON fueron principalmente adultos, lo cual sugiere que una vez que los individuos de *D. m. insularis* se han establecido en algunas madrigueras su movilidad podría ser reducida como en otras poblaciones de *D. merriami* (Behrends *et al.*, 1986; Jones, 1993; Randall, 1993).

El patrón de distribución espacial de madrigueras fue agrupado para hembras y machos durante ambos períodos de muestreo. Este resultado contrasta con la distribución de madrigueras en especies que se sabe que minimizan las interacciones inter-específicas por medio de incrementar la distancia entre los individuos, como ocurre en *D. spectabilis* (Schroder y Geluso, 1975; Schroder, 1979; Schooley y Wiens, 2001) y *D. ingens* (Cooper y Randall, 2007).

El patrón de distribución espacial de madrigueras observado en el presente estudio es más parecido a la distribución de madrigueras observada para poblaciones continentales de *D. merriami*, las cuales exhiben una frecuente superposición de ámbitos hogareños entre hembras y machos (Jones, 1989; O'Farrell, 1980; Behrends *et al.*, 1986; Randall, 1993; Perri y Randall, 1999). El patrón de distribución espacial de madrigueras fue agregado en todos los casos. Lo cual sugiere que aparentemente hembras y machos no se excluyen espacialmente. Así mismo, se puede esperar que si los ámbitos hogareños de *D. m. insularis* se superponen, esto podría resultar en una distribución espacial de las madrigueras agregadas. La ausencia de cambios estacionales en la distribución espacial de madrigueras de *D. m. insularis* podría ser explicado como una elevada superposición de ámbitos hogareños a lo largo del año, como ocurre en otros lugares en *D. merriami* (O'Farrell, 1980).

Los individuos sub-adultos ocuparon ligeramente menos madrigueras por individuo que los juveniles y los adultos. Los individuos establecidos de *D. merriami* a menudo usan varias madrigueras, pero más comúnmente usan sólo una o dos (Behrends *et al.*, 1986). Los sub-adultos probablemente son individuos no completamente establecidos que usan menos madrigueras debido a que ellos han excavado menos madrigueras. Encontramos que los individuos juveniles y adultos usaron un número similar de madrigueras, sugiriendo que los juveniles tienen más madrigueras que los sub-adultos, debido a que ellos están usando las madrigueras de sus madres.

Todos los individuos usaron más madrigueras durante el período de MM, cuando se encontró la mayor actividad reproductiva en las ratas canguro, lo cual sugiere una mayor movilidad de los animales, posiblemente como resultado de la actividad reproductiva, como se observa en otras poblaciones de *D. merriami* (Behrends *et al.*, 1986). Los individuos en la categoría de captura "baja" usaron menos madrigueras y fueron influenciados por el esfuerzo de captura. Por lo tanto, incrementando el esfuerzo de captura podría contribuir a validar los resultados del presente estudio.

Se encontró que la distancia media entre vecinos más cercanos de toda la población muestreada fue similar a algunas poblaciones continentales de *D. merriami* (Behrends *et al.*, 1986), pero ligeramente superior que aquellas distancias encontradas en especies de

talla mediana como *D. heermanni arenae* (Shier y Randall, 2004) y de talla grande como *D. nelsoni*, *D. spectabilis zygomaticus*, *D. s. cratodon* (Best *et al.*, 1988) y *D. ingens* (Cooper y Randall, 2007). Los resultados del presente estudio sugieren que la distancia entre vecinos más cercanos no está relacionada aparentemente al tamaño corporal de *Dipodomys*. Adicional a lo anterior, es que los diferentes hábitats o la densidad de los individuos, aún más que el tamaño corporal, son quienes probablemente contribuyen a esas diferencias inter-específicas.

En este estudio, las madrigueras que pertenecieron a animales del sexo opuesto estuvieron más cerca que aquellas de animales del mismo sexo, un resultado que es consistente con estudios previos de *D. merriami* (Behrends *et al.*, 1986) y *D. heermanni* (Shier y Randall, 2004). La mayor cercanía entre madrigueras de vecinos del sexo opuesto y la superposición de ámbitos hogareños entre sexos sugiere una mayor tolerancia entre individuos del sexo opuesto que entre hembras en *D. merriami* (Behrends *et al.*, 1986; O'Farrell, 1980; Randall, 1993; Perri y Randall, 1999) y *D. heermanni* (Shier y Randall, 2004). Esto último apoya la idea de que las madrigueras de las hembras están significativamente más cerca a los machos que a otras hembras (Shier y Randall, 2004). Asimismo, si las hembras de *D. m. insularis* mantuvieran territorios más exclusivos que los machos entonces se esperaban mayores distancias entre madrigueras de las hembras que entre los machos. Sin embargo, la distancia entre madrigueras de las hembras no fue diferente significativamente de las encontradas entre los machos. De esta manera, la proximidad entre madrigueras de individuos vecinos del sexo opuesto sugiere que *D. m. insularis* probablemente puede tener un patrón de espaciamiento similar a las demás especies de *Dipodomys*, pero con mayor tolerancia entre las hembras o exclusión similar entre hembras y entre machos. Así, los resultados sugieren que las hembras y los machos tienen mayor tolerancia espacial que individuos del mismo sexo y que ambos sexos podrían tener menor tolerancia intra-sexual, especialmente durante el período de mayor actividad reproductiva (MM).

Los análisis de la relación espacial entre individuos revelan que la distancia entre madrigueras de vecinos más cercanos del mismo sexo con respecto al sexo opuesto (calculado por el índice de distancia) es influenciada por la clase de edad. Los individuos

adultos tuvieron una mayor índice de distancia que los sub-adultos, lo cual indica que los individuos adultos tienen madrigueras más cerca a las madrigueras de vecinos del sexo opuesto que del mismo sexo.

En otras poblaciones de *D. merriami* la estación reproductiva también influye sobre la movilidad de los individuos (O'Farrell, 1980). En este estudio, el período de muestreo parece no influir sobre el patrón de distribución espacial de las madrigueras. Probablemente, la estación reproductiva influye la movilidad de *D. m. insularis*, pero no la organización espacial de sus madrigueras.

Los resultados mostraron que *D. m. insularis* despliega patrones de uso de madrigueras y organización espacial similar a lo observado en otras poblaciones de esta especie. Así, esos resultados contribuyen a entender la variación reducida en la organización social de esta rata canguro, un hecho que debe ser considerado en los planes de conservación para este taxón en peligro de extinción.

8.4 Patrón de distribución espacial de la comunidad de roedores alrededor de las madrigueras de *Dipodomys merriami insularis*

La comunidad de roedores en el área de estudio fue caracterizada por individuos de *C. spinatus*, *D. merriami*, *P. fraterculus* y *N. bryanti* capturados alrededor de las madrigueras de *D. m. insularis*. Resultados similares acerca de la abundancia relativa de los roedores en la isla San José fueron encontrados por Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda (2006). La abundancia de roedores capturados puede tener un sesgo en la estimación, debido a que las trampas fueron colocadas en un sólo patrón, el de red. En otras poblaciones de roedores, emplear un solo patrón de distribución de trampas reduce la captura de especies con hábitos más arborícolas como algunos *Peromyscus* (Laudenslayer and Fargo 1997; O'Farrell et al. 1994). Sin embargo, el muestreo aquí empleado de cómo se colocaron las trampas en tiempo y espacio permitió la misma oportunidad de captura para todos los roedores en los transectos de muestreo. Por lo tanto, los resultados aquí presentes pueden ser al menos un indicativo de la abundancia relativa de los roedores alrededor de las madrigueras de *D. m. insularis*. Bajo este contexto, si hubo una subestimación del número de *Neotoma*, por emplear trampas poco aptas, entonces habría una subestimación de la distancia a las

madrigueras de las ratas canguro. Sin embargo, al menos para *Chaetodipus*, las altas densidades no permiten una mayor proximidad a las madrigueras de *D. m. insularis*. Por lo tanto, la densidad parece no proveer una completa explicación a la distribución de los roedores en relación a esas madrigueras.

En cuanto a las características reproductivas de los roedores, los individuos de *D. merriami* mostraron actividad reproductiva durante el periodo de muestreo de MM. Este resultado es consistente con las observaciones de la actividad reproductiva de los miembros de esta misma subespecie en la isla San José, donde había sido reportado la presencia de dos individuos sub-adultos en mayo (Best y Thomas, 1991). Al igual que *D. m. insularis*, las demás especies de roedores en la zona de muestreo tuvieron mayor actividad reproductiva en el período MM.

Con relación a la actividad reproductiva de *P. fraterculus* y *C. spinatus* en la isla San José los datos señalan una consistencias con la reproducción de esas especies en la zona peninsular (Álvarez-Castañeda *et al.*, 2008); la presencia de juveniles de *C. spinatus*, durante el período de ON sugiere que la actividad reproductiva en esta especie podría extenderse más allá del período de MM.

En cuanto al patrón de distribución espacial, los individuos de *D. merriami*, *P. fraterculus* y *N. bryanti* mostraron un patrón de distribución agregado, mientras que el de *C. spinatus* fue aleatorio. Para *N. bryanti*, los datos fueron muy pocos para predecir algún patrón. Aunque este estudio fue dirigido a capturar ratas canguro, el área muestreada incluyó diferentes hábitats. Por lo tanto, los resultados de los patrones de la distribución espacial pueden reflejar diferencias en las preferencias del hábitat para todas las especies de roedores.

La distribución agregada de las ratas canguro sugiere que *D. m. insularis* está asociada con un hábitat específico. Los lugares con escasa vegetación y suelos de grano fino han sido descritos como el hábitat de esta subespecie en la isla San José (Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006). Además, este micro-hábitat es similar a donde se han encontrado otras poblaciones de *D. merriami* en la Península (*D. m. brunensis* y *D. m. platycephalus*; Álvarez-Castañeda *et al.*, 2008).

La distribución de *P. fraterculus* probablemente refleja sus preferencias por micro-hábitats con arbustos y suelos un poco más rocosos. Los cuales son lugares donde los individuos de esta especie han sido capturados en la isla San José (Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006) y en la Península (Álvarez-Castañeda *et al.*, 2008, Álvarez-Castañeda *et al.*, 2010).

La distribución aleatoria de *C. spinatus* podría reflejar su ausencia de preferencias por algún micro-hábitat en particular en esta zona, este género se caracteriza por ser cosmopolita, aunque con tendencia a estar presente en suelos arenosos y compactos con gravas o piedras (Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006).

Los heterómidos del género *Chaetodipus* prefieren micro hábitats donde exista una cobertura vegetal arbustiva, ya que proveen protección y semillas de las cuales forrajean, mientras *Dipodomys*, que poseen locomoción bípeda prefieren áreas abiertas (Daly *et al.* 1992, Leaver y Daly, 2001). Por lo tanto, las diferencias en el patrón de distribución espacial diferencial entre las especies de roedores muestreados podrían reflejar las diferencias en las preferencias en el uso de hábitat.

El patrón de proximidad de la comunidad de roedores alrededor de las madrigueras de las ratas canguro está caracterizado por individuos de *C. spinatus* más cerca de las madrigueras (media = 15.8 m), seguidos por *D. merriami* (16.7 m) y *P. fraterculus* (33.7 m; Fig. 15a). La proximidad de *C. spinatus* a las madrigueras sugiere que *D. m. insularis* comparte mucho más espacio alrededor de sus madrigueras con esta especie que con *P. fraterculus*. Este resultado también ha sido reportado en otros estudios (Best y Thomas, 1991; Espinosa-Gayosso y Álvarez-Castañeda, 2006). En situaciones donde otras poblaciones de ratas canguro y ratones de abazones son encontrados juntos, ocurren interacciones antagonistas. El ratón de abazones a menudo hurta las semillas de los escondites de las ratas canguro, las cuales responden agresivamente en respuesta (Frye 1983; Leaver y Daly, 2001; Reichman y Price, 1993). Por lo tanto, se puede anticipar que la localización de las madrigueras de las ratas canguro podría influir negativamente la organización espacial de *C. spinatus* más fuerte que la de *P. fraterculus*.

El patrón de proximidad de los roedores capturados cerca la las madrigueras de las ratas canguro fue mantenido durante los dos períodos de muestreo (*C. spinatus* y *D.*

merriami capturados más cerca a las madrigueras de las ratas canguro que *P. fraterculus*). Sin embargo, hubo un incremento significativo en la distancia entre los sitios de captura y las madrigueras de las ratas canguro para *D. m. insularis* y *C. spinatus* de MM a ON (Fig. 1b).

En las ratas canguro, la actividad reproductiva podría explicar el patrón de proximidad entre los sitios de sus capturas y las madrigueras en ambos períodos de muestreo. Individuos de *D. merriami* a menudo tienen una elevada movilidad durante la estación reproductiva (Jones, 1993; Randall, 1993) y un incremento en el ámbito hogareño (O'Farrell, 1980).

Así mismo, los machos de *D. merriami* generalmente se aproximan a las madrigueras de las hembras con propósitos reproductivos y las hembras muestran una mayor tolerancia hacia los machos durante el período reproductivo (O'Farrell, 1980; Behrends *et al.*, 1986). Por lo tanto, se puede esperar que la reducida distancia entre sitios de captura y las madrigueras de las ratas canguro durante el período MM pudiera deberse a que los machos estuvieron más cerca de las madrigueras de las hembras por los fines reproductivos, lo cual disminuyó durante el período ON.

Por otro lado, los individuos de *C. spinatus* fueron capturados más cerca de las madrigueras de *D. m. insularis* durante el período de MM que en el ON. La temporada con mayor distancia entre los individuos de *C. spinatus* y las madrigueras de las ratas canguro coincidió con el período donde una mayor proporción de individuos juveniles de *C. spinatus*, fueron capturados (el período ON).

Existen evidencias de que las ratas canguro ahuyentan a los ratones de abazones en situaciones donde ambos roedores son confrontados (Frye, 1983; Leaver y Daly, 1992; Reichman y Price, 1993). Por lo tanto, se puede suponer que las ratas canguro pueden desplazar más fácilmente a los ratones de abazones cuando son juveniles que cuando son adultos o que los ratones de abazones juveniles no se aproximan a las madrigueras de las ratas canguro tan cerca como cuando son adultos. De esta manera, se podría modificar la organización espacial de los roedores alrededor de las madrigueras de las ratas canguro. La estación, por lo tanto, parece influir indirectamente la organización espacial de las ratas

canguro y ratones de abazones. Esto es razonable bajo la asunción de que *D. merriami* y *C. spinatus* están compartiendo el micro-hábitat más a menudo.

Las relaciones espaciales entre las especies también fueron afectadas por el sexo. Los individuos de *D. m. insularis* fueron capturadas más cerca a las madrigueras de las hembras, mientras tanto *C. spinatus* se capturaron más cerca de las madrigueras de los machos. Así, sólo para *D. m. insularis* y *C. spinatus* la proximidad de los individuos capturados cerca a las madrigueras de las ratas canguro fueron influenciadas por el sexo de los propietarios de las madrigueras. Esas diferencias pueden ser explicadas por dos conductas asociadas a la actividad reproductiva de las ratas canguro hembras. Primero, las hembras comparten sus madrigueras con sus crías, antes que los juveniles se muevan a nuevas áreas para su establecimiento (Jones, 1984). Dos, durante la estación reproductiva los machos adultos a menudo se aproximan a las madrigueras de las hembras con propósitos reproductivos (O'Farrell, 1980; Randall, 1987, 1993). Además, se encontraron madrigueras compartidas sólo por individuos adultos del sexo opuesto o por hembras adultas e individuos juveniles. Por lo tanto, los resultados parecen apoyar que esas conductas también ocurren en la población aquí estudiada, las cuales se vean reflejadas en el patrón de proximidad de las ratas canguro capturadas cerca de las madrigueras de *D. m. insularis*.

Los individuos de *C. spinatus* fueron capturados más cerca de las madrigueras de los machos de las ratas canguro que de las hembras. Esos resultados hacen suponer que las hembras son más efectivas en excluir roedores hetero-específicos de los alrededores de sus madrigueras. Las madrigueras han sido consideradas como el centro del área de actividad de las ratas canguro, incluyendo el espacio que los individuos defienden contra conspecíficos (O'Farrell, 1980; Behrends *et al.*, 1986; Randall, 1993). Así, la presencia de *C. spinatus* cerca de las madrigueras de las ratas canguro hembras tiene implicaciones para la competencia de recursos alimenticios (almacenamiento y adquisición de alimento).

Posiblemente para las hembras es más importante tener menos tolerancia cerca de sus madrigueras a otros roedores. Existen reportes de individuos de *C. penicillatus* (Reichman y Price, 1993) y *C. fallax* robando los almacenes de semillas de *D. merriami* (Leaver y Daly, 2001). Por lo tanto, si las hembras de *D. m. insularis* son más exclusivas que los

machos en el uso de sus madrigueras entonces es probable que esas diferencias en exclusividad territorial sean exhibidas en una menor proximidad de *C. spinatus* cerca de sus madrigueras.

Se encontró también que los individuos de la comunidad de roedores colectivamente, fueron capturados más cerca de las madrigueras de las ratas canguro hembras que de los machos, sólo durante el período MM. Estos resultados contrastaron con el patrón observado en el análisis por especie, donde los individuos de *C. spinatus* fueron capturados más cerca de las madrigueras de las ratas canguro macho. Sin embargo, el patrón de distribución podría ser diferente para cada especie porque cada especie tiene diferentes requerimientos. Una explicación de esos resultados es que la distribución de las hembras a menudo es asumida que refleja la disponibilidad de los recursos, mientras que los machos están más asociados con la disponibilidad de parejas (Ims, 1988). Así mismo, hay diferencias entre hembras y machos en la acumulación de semillas por *D. merriami* (Jenkins, 2011; Murray *et al.*, 2006). La conducta de acumular semillas en agregados exhibido por las hembras ha sido considerado como más vulnerable al hurto por otras especies (Vander Wall y Jenkins, 2003). Por lo tanto, es posible que la proximidad de especies de roedores a las madrigueras de las hembras refleje la disponibilidad de alimento en el micro-hábitat cerca de las madrigueras y el sitio potencial para el hurto de las reservas de alimento.

Los resultados muestran que el patrón de distribución de la comunidad de roedores alrededor de las madrigueras de *D. m. insularis* es dinámico, dicho patrón es diferente entre sexos de las ratas canguro y la estación reproductiva. Estos resultados sugieren que las hembras y los machos influyen diferencialmente sobre la distribución espacial de la comunidad de roedores insulares. Quizás los machos y las hembras excluyen diferencialmente o atraen roedores cerca de sus madrigueras. Sin embargo, no se puede excluir la posibilidad de que sean las visitas de los roedores esa respuesta diferencial a las madrigueras ocupadas por las ratas canguro de diferente sexo. Por lo tanto, este estudio provee información para entender el papel que desempeña *D. m. insularis* sobre la comunidad de roedores insulares.

De manera general, el presente estudio contribuye a entender 1) la relación entre la distribución de las madrigueras y las características particulares del micro-hábitat, 2) la variación reducida en la organización social de esta rata canguro, y 3) la potencial influencia que tiene la distribución de las madrigueras sobre la organización espacial de la comunidad de roedores en la isla San José. Esa información permite entender cómo población de *D. m. insularis* responde a las condiciones ambientales en condiciones insulares. Con la presente información se evidencia que alteraciones a nivel del micro-hábitat podrían tener efectos no sólo sobre la distribución espacial de las madrigueras y la organización social de *D. m. insularis*, sino a nivel de organización espacial de toda la comunidad de roedores insulares. En este sentido, especies que modifican la estructura vegetal, tal como las cabras, pueden alterar el micro-hábitat de esta rata canguro. Por lo tanto, la información obtenida en el presente estudio debe ser considerada en los planes de conservación para este taxón en peligro de extinción. Además, los resultados permiten generar nuevas preguntas acerca de qué otros factores influyen sobre la organización espacial de *D. m. insularis* y la comunidad de roedores insulares, así como, qué efectos directos e indirectos pueden tener las especies exóticas sobre este taxón y la comunidad de roedores en general.

9. CONCLUSIONES

La primera hipótesis planteada puso a prueba que sí la distribución de *Dipodomys merriami insularis* varía en relación a la heterogeneidad del hábitat entonces el número de madrigueras será distinto entre sitios con diferente estructura y diversidad de vegetación.

Los resultados mostraron que en la zona de estudio hay variaciones en las características de la vegetación tanto en la diversidad como en la estructura vegetal, lo cual brinda un hábitat heterogéneo a *D. m. insularis*. Además, las madrigueras están con mayor frecuencia cerca de sólo algunas especies vegetales (*Jatropha cinerea* y *Stenocerus gummosus*) y el número de madrigueras incrementa con la riqueza de especies vegetales y la heterogeneidad en su abundancia. Por lo tanto se concluye que la distribución de las madrigueras de *D. m. insularis* varían en relación a la heterogeneidad del hábitat a nivel local.

En la segunda hipótesis se planteó que sí la proximidad espacial entre individuos está influenciada por el sexo y la actividad reproductiva, entonces se espera un patrón de proximidad distinto entre las madrigueras de los vecinos del sexo opuesto y del mismo sexo.

Se encontró que el patrón de relación espacial entre madrigueras de *D. m. insularis* se caracteriza por una mayor proximidad espacial entre individuos del sexo opuesto que del mismo sexo. Las madrigueras de vecinos del sexo opuesto están más cerca respecto a las del mismo sexo, pero únicamente en los individuos adultos. Por lo tanto, se concluye que sólo el sexo y la edad de los individuos influyen sobre el patrón de proximidad espacial entre madrigueras de *D. m. insularis*, lo cual es consistente con lo observado en esta especie habitando zonas continentales.

En la tercer hipótesis se probó sí la proximidad espacial entre individuos está influenciada por el sexo y la actividad reproductiva, entonces se espera un patrón de proximidad distinto entre las madrigueras de los vecinos del sexo opuesto y del mismo sexo.

El patrón de distribución de la comunidad de roedores alrededor de las madrigueras de las ratas canguro se caracteriza por una mayor proximidad entre las madrigueras y los sitios de captura de *Chaetodipus spinatus bryanti* y *Dipodomys merriami insularis* que de *Peromyscus fraterculus cinereus*. Dicho patrón varía entre hembras y machos de las ratas canguro. Además, el patrón de proximidad entre sitios de captura y las madrigueras es mayor durante el período reproductivo que el no reproductivo de las ratas canguro. Por lo tanto, se concluye que el patrón de distribución de los roedores alrededor de las madrigueras es distinto entre ambos sexos y varía con las estaciones reproductiva y no reproductiva de *D. m. insularis*.

10. LITERATURA CITADA

- Adler GH, Levins R. 1994. The island syndrome in rodent population. *The Quarterly Review of Biology*. 69:473–490.
- Alcover JA, Sans A, Palmer M. 1998. The extent of extinctions of mammals on islands. *Journal of Biogeography* 25:913–918
- Álvarez-Castañeda ST, Cortés-Calva P, Méndez L, Ortega-Rubio A. 2006. Development in the sea of Cortés calls for mitigation. *BioSciences* 56:825–829.
- Álvarez-Castañeda ST, Cortés-Calva P, González-Cózatl FX, Rojas D, Leyva I. 2010. Comparison of distribution and habitat characteristics between an endemic and a wide-ranging cryptic species of *Peromyscus* on the Baja California Peninsula. *Western North American Naturalist*, 70:323–333.
- Álvarez-Castañeda ST, Lidicker JR WZ, Rios E. 2009. Revision of the *Dipodomys merriami* complex in the Baja California Peninsula, Mexico. *Journal of Mammalogy* 90:992–1008.
- Álvarez-Castañeda ST, Ortega-Rubio A. 2003. Current status of rodents on islands in the Gulf of California. *Biological Conservation* 109:157–163.
- Álvarez-Castañeda ST, Ríos E, Cortés-Calva P, González-Ruiz N, Suárez-Gracida G. 2008. Los Mamíferos de las Reservas de El Valle de los Cirios y El Vizcaíno. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 331 pp.
- Álvarez-Castañeda ST, y Patton JM, 1999. Mamíferos del Noroeste Mexicano. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. 583 p.
- Amarasekare P. 1994. Spatial population structure in the banner-tailed kangaroo rat, *Dipodomys spectabilis*. *Oecologia*. 100:166–176.
- Behrends PR. 1984. Spatiotemporal activity patterns of Merriam kangaroo rats (*Dipodomys merriami*). Tesis, Universidad de California, Riverside, USA. Paper 1474. <http://digitalcommons.mcmaster.ca/opensdissertations/1474>.
- Behrends P, Daly M, Wilson DI. 1986. Range use patterns and spatial relationships of Merriam's Kangaroo rats (*Dipodomys merriami*). *Behaviour* 96:187–209.

- Best TL. 1992. *Dipodomys margaritae*. Mammalian Species 400:1–3.
- Best TL, Intress C, Shull KD. 1988. Mound structure in three taxa of Mexican kangaroo rats (*Dipodomys spectabilis cratodon*, *D. s. zygomaticus* and *D. nelsoni*). American Midland Naturalist 119:216–220.
- Best TL, Janecek LL. 1992. Allozymic and morphologic variation among *Dipodomys insularis*, *Dipodomys nitratoides*, and two populations of *Dipodomys merriami* (Rodentia: Heteromyidae). The Southwestern Naturalist 37:1–8.
- Best TL, Thomas HH. 1991. *Dipodomys merriami*. Mammalian Species 374:1–3
- Bowers MA. 1982. Foraging behavior in heteromyid rodents: field evidence for resource partitioning. Journal of Mammalogy 63:361–367.
- Bowers MA, Brown JH. 1992. Structure in a desert rodent community: use of space around *Dipodomys spectabilis* mounds. Oecologia 92:242–249
- Brock RE, Kelt DA. 2004. Keystone effects of the endangered Stephen's kangaroo rat (*Dipodomys stephensi*). Biological Conservation 116:131–139.
- Brown JH y Harney BA. 1993 Population and community ecology of heteromyid rodents in temperate habitats. En: Genoways HH y Brown JH (Eds.). Biology of the Heteromyidae. Special publications No. 10. The American Society of Mammalogists, Utah, USA. Pp. 618–651.
- Caro T. 1998. The significance of behavioral ecology to conservation biology. En: Caro T. (Ed.). Behavioral ecology and conservation biology. Oxford: Oxford University Press. Pp 3–29.
- Chew RM, Butterworth BB. 1964. Ecology of rodents in Indian Cove (Mojave Desert), Joshua Tree National Monument, California. Journal of Mammalogy. 45:203–225.
- Christopher EA. 1973. Sympatric relationships of the kangaroo rats, *Dipodomys merriami* and *Dipodomys agilis*. Journal of Mammalogy. 54:317–326.
- Clark PJ, Evans FC. 1954. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. Ecology 35:445–453.
- Cody ML, Moran R, Thompson H. 1983. The plants. En: Cade TJ; Cody ML (Eds.). Island Biogeography in the Sea of Cortés. Berkeley: University of California Press. Pp. 49–97.

- Cooper LD, Randall JA. 2007. Seasonal changes in home ranges of the giant kangaroo rat (*Dipodomys ingens*): a study of flexible social structure. *Journal of Mammalogy* 88:1000–1008.
- Cortés-Calva P. 1997. Sinopsis de la biología y ecología reproductiva de tres especies de heterómidos, en áreas de matorral sarcocaula, Baja California Sur, México. Tesis maestría. Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Crawley MJ. 2007. *The R Book*. The John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, England. Pp. 511–526.
- Daly M, Jacobs LF, Wilson MI, Behrends PR. 1992. Scatter hoarding by kangaroo rats (*Dipodomys merriami*) and pilferage from their caches. *Behavioral Ecology* 3:102–111.
- Daly M, Wilson MI, Behrends P. 1984. Breeding of capture kangaroo rat, *Dipodomys merriami* and *D. microps*. *Journal of mammalogy*. 65:338–341.
- Diario Oficial de la Federación. 1978. DECRETO por el que se establece una zona de reserva y refugio de aves migratorias y de la fauna silvestre, en las islas que se relacionan, situadas en el Golfo de California. *Diario Oficial, Órgano del Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos*. CCCXLIX, No. 23.
- Espinosa-Gayosso CV, Álvarez-Castañeda ST. 2006. Status of *Dipodomys insularis*, an endemic species of San José Island, Gulf of California Mexico. *Journal of Mammalogy*. 87:677–682.
- Faraway J. 2006. *Extending the Linear Model with R*. Chapman and Hall / CRC, New York.
- Frye RJ. 1983. Experimental field evidence of interspecific aggression between two species of kangaroo rats (*Dipodomys*). *Oecologia*. 59:74–78.
- González-Romero A. 1995. Cambios en la composición de las comunidades de roedores en relación a los tipos de vegetación y geomorfología en el Pinacate, Sonora, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 64:45–58.
- Hall ER. 1981. *The mammals of North America*. John Wiley and Sons. New York.
- Huey LM. 1951. The kangaroo rats (*Dipodomys*) of Baja California, México. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 9:205–256.

- IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources). 2011. 2009 IUCN Red List of Threatened Species. WWW.iucnredlist.org. (01 November 2011).
- Ims RA. 1988. Spatial clumping of sexually receptive females induces space sharing among male voles. *Nature*. 335:541–543.
- Jenkins SH. 2011. Sex differences in repeatability of food-hoarding behaviour of kangaroo rats. *Animal Behaviour*. 81:1155–1162.
- Jones WT. 1984. Natal philopatry in bannertailed kangaroo rats. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 15:151–155.
- Jones WT. 1989. Dispersal distance and the range of nightly movements in Merriam's kangaroo rats. *Journal of Mammalogy*. 70:27–34.
- Jones WT. 1993. Social systems of heteromyid rodents. En: Genoways HH, Brown JH (Eds.). *Biology of the Heteromyidae*. Special publications No. 10. The American Society of Mammalogists, Brigham Young University, Provo, Utah. pp. 575–595.
- Krebs CJ. 2001. *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. 5a Ed. Benjamin Cummings, San Francisco, CA. USA.
- Laudenslayer WF, Fargo RJ. 1997. Small nocturnal mammals in oak woodlands: some considerations for assessing presence and abundance. USDA Forest Service General Technical Reports. 160:373–380.
- Lawlor TE, Hafner, DJ, Stapp P, Riddle BR, Álvarez-Castañeda ST. 2002. The mammals. En: *A New Island Biogeography of the Sea of Cortes* (TJ. Case, ML. Cody, y E. Ezcurra, eds.). Oxford University Press, Oxford, United Kingdom.
- Leaver L, Daly M. 2001. Food caching and differential cache pilferage: a field study of co-existence of sympatric kangaroo rats and pocket mice. *Oecologia* 128:577–584.
- Lidicker WZ. 1960. An analysis of intraspecific variation in the kangaroo rat *Dipodomys merriami*. University of California Publication. *Zoology* 67:125–218.
- Maoh H. 2001. dmatrix_en.avx. Arcscript available from <http://arcscripts.esri.com/details.asp?dbid = 10408> [accessed 10 Enero 2009]
- Maya Y, Guzmán J. 1998. Recursos terrestres y suelo. En: Mahieux S (Ed.). *Diagnóstico ambiental de Baja California Sur* Sociedad de historia natural Nipajará, A.C.,

- Universidad Autónoma de Baja California Sur y Fundación Mexicana para la Educación ambiental, A.C. Pp. 198–204.
- Merriam CH. 1907. Descriptions of ten new kangaroo rats. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 20:75–80.
- Monson G, Kessler W. 1940. Life history notes on the banner-tailed kangaroo rat, Merriam's kangaroo rat, and the white-throated wood rat in Arizona and New Mexico. *The Journal of Wildlife Management* 4:37–43.
- Murray AL, Barber AM, Jenkins SH, Longland WS. 2006. Competitive environment affects food-hoarding behavior of merriam's kangaroo rats (*Dipodomys merriami*). *Journal of Mammalogy* 87:571–578.
- Norma Oficial Mexicana. 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-, 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. 30 de Diciembre de 2010.
- O'Farrell MJ. 1980. Spatial relationships of rodents in a sagebrush community. *Journal of Mammalogy*. 61:589–605.
- O'Farrell MJ, Clark WA, Emmerson FH, Juarez SM, Kay F R, O'Farrell MO, Goodlett TY. 1994. Use of mesh live trap for small mammals: are results from Sherman live traps deceptive? *Journal of Mammalogy*. 75:692–699.
- Patton JM., Álvarez-Castañeda ST. 1999. Family Heteromyidae. En: Mamíferos del Noroeste Mexicano (Álvarez Castañeda, ST. and JM. Patton Eds.). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C Pp 353–443.
- Perri LM, Randall JA. 1999. Behavioral mechanisms of coexistence in sympatric species of desert rodents, *Dipodomys ordii* and *D. merriami*. *Journal of Mammalogy*. 80:1297–1310.
- R Development Core Team. 2010. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R. Foundation for Statistical Computing, Vienna. Available from <http://www.R-project.org>.
- Randall JA. 1984. Territorial-defense interactions with neighbors and strangers in banner-tailed kangaroo rats. *Journal of Mammalogy*. 70:308–315.

- Randall JA. 1987. Field observation of male competition and mating in Merriam's and banner tail kangaroo rat. *American Midland Naturalist*. 117:211–213.
- Randall JA. 1989. Neighbor recognition in solitary desert rodent (*Dipodomys merriami*). *Ethology*. 81:123–133.
- Randall JA. 1991. Sandbathing to establish familiarity in the Merriam's kangaroo rat, *Dipodomys merriami*. *Animal Behaviour*. 41:267–275.
- Randall JA. 1993. Behavioural adaptations of desert rodents (Heteromyidae). *Animal Behaviour*. 45:263–267.
- Randall JA, Hekkala ER, Cooper LD, Barfield J. 2002. Familiarity and flexible mating strategies of a solitary rodent, *Dipodomys ingens*. *Animal Behaviour*. 64:11–21.
- Reichman OJ, Oberstein D. 1977. Selection of seed distribution types by *Dipodomys merriami* and *Perognathus amplus*. *Ecology* 58:636–643.
- Reichman OJ, Price MV. 1993. Ecological aspects of Heteromyid foraging. En: Genoways, HH., Brown, JH. (Eds.). *Biology of the Heteromyidae*. Special publications No. 10 The American Society of Mammalogists, Utah, USA. Pp. 539–574.
- Reichman OJ, Smith SC. 1990. Burrows and burrowing behavior by mammals. En: Genoways, HH., Brown, JH. (Eds.). *Current mammalogy*. Plenum Press, New York and London. Pp. 197–244.
- Reynolds HG. 1958. The ecology of the Merriam kangaroo rat (*Dipodomys merriami* Mearns) on the grazing lands of southern Arizona. *Ecological monographs*. 28:111–127.
- Reynolds HG. 1960. Life history notes on Merriam's kangaroo rat in southern Arizona. *Journal of Mammalogy*. 41:48–58.
- Rodríguez-Estrella R, Rodríguez A, Grajales K. 2000. Spring diet of the endemic ring-tailed cat (*Bassariscus astutus insulicola*) population on an island in the Gulf of California, Mexico. *Journal of Arid Environments*. 44:241–246.
- Rosenzweig ML, Smigel B, Kraft A. 1975. Patterns of food, space, and diversity. En: *Rodents in desert environments*. Prakash, I., Ghosh, P.K., (Eds.). Dr. Junk B.V., Publishers, Hague, Netherlands. pp. 241–268.

- Salinas-Zavala CA, Leyva-Contreras A, Lluch-Belda D, Díaz-Rivera E. 1990. Distribución geográfica y variabilidad climática de los regímenes pluviométricos en Baja California Sur, México. *Atmósfera*. 3:217–237.
- Schroder GD, Geluso KN. 1975. Spatial distribution of *Dipodomys spectabilis* mounds. *Journal of Mammalogy*. 87:748–756.
- Schroder GD. 1979. Foraging behavior and home range utilization of the bannertail kangaroo rat (*Dipodomys spectabilis*). *Ecology* 60:658–665.
- Schooley RL, Wiens JA. 2001. Finding habitat patches and directional connectivity. *Oikos*. 102:559–570.
- Shier DM, Randall JA. 2004. Spacing as a predictor of social organization in kangaroo rats (*Dipodomys heermanni arenae*). *Journal of Mammalogy*. 85:1002–1008.
- Soholt LF. 1973. Consumption of primary production by a population of kangaroo rats (*Dipodomys merriami*) in the Mojave Desert. *Ecology Monographs*. 43:357–376.
- Tracy RL, Walsberg GE. 2002. Kangaroo rats revisited: re-evaluating a classic case of desert survival. *Oecologia*. 133:449–457.
- Vander Wall SB, Jenkins SH. 2003. Reciprocal pilferage and the evolution of food-hoarding behavior. *Behavioral Ecology*. 14:656–667.
- Waser PM, Busch JD, McCormick CR, DeWoody JA. 2006. Parentage analysis detects cryptic precapture dispersal in a philopatric rodent. *Molecular Ecology*, 15:1929–1937.
- Waser PM, DeWoody JA. 2006. Multiple paternity in a philopatric rodent: the interaction of competition and choice. *Behavioral Ecology* 17:971–978.
- Waser PM, Elliot LF. 1991. Dispersal and genetic structure in kangaroo rats. *Evolution*. 45: 935–934.
- Waser PM, Jones WT. 1991. Survival and Reproductive Effort in Banner-Tailed Kangaroo Rats. *Ecology*. 72:771–777.
- Williams DF, Genoways HH, Braun JK. 1993. Taxonomy. En: Genoways, HH., Brown, JH. (Eds.). *Biology of the Hetromyidae*. Special publications No. 10. The American Society of Mammalogists, Utah, USA. Pp 38–196.

- Winters JB, Waser PM. 2003. Gene dispersal and outbreeding in a philopatric mammal. *Molecular Ecology*. 12:2251–2259.
- Whitford GH. 1976. Temporal fluctuation in density and density and diversity of desert rodent populations. *Journal of Mammalogy*. 57:351–369.
- Zar JH. 2009. *Biostatistical Analysis*. 5a ed. Prentice Hall., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Zeng Z, Brown JH. 1987. Population ecology of a desert rodent: *Dipodomys merriami* in the Chihuahuan desert. *Ecology*. 68:1328–1340.