



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Centro de Investigaciones en Ecosistemas

**CAMINOS COMO BARRERAS
PARA EL MOVIMIENTO DE AVES
Y EFECTOS DEL HURACÁN
WILMA, EN UNA COMUNIDAD DE
AVES DE SOTOBOSQUE DE LA
SELVA MEDIANA
SUBCADUCIFOLIA DE LA ISLA
COZUMEL**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)**

P R E S E N T A

HÉCTOR PERDOMO VELÁZQUEZ

DIRECTOR DE TESIS: Ph.D. ELLEN ANDRESEN

MORELIA, MICHOACÁN

NOVIEMBRE, 2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Se agradece a:

CONACYT beca 168899

DEGEP UNAM

Proyecto SEMARNAT CONACYT 2002-CO1-0571/A1 y al Dr. Alfredo Cuarón, responsable de dicho proyecto

CAPA de Cozumel

DECO de Cozumel

Fundación de Parques y Museos de Cozumel

por el apoyo otorgado.

A los miembros de mi comité tutorial:

Dra. Ellen Andresen

Dra. Katherine Renton

Dr. Jorge Schondube

Por su revisión del manuscrito y sugerencias en los tutorales para mejorar el proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Dedicada a todos los que vuelan...

Gracias como cada día a mi familia. Gracias Mamá, Papá y Brody por su amor y por seguirme apoyando todo el tiempo. Gracias Abuelos por ser simplemente maravillosos, gracias Minkis por caminar de nuevo, y gracias Véjéz por levantarte una y otra vez, quiero ser un campeón como tú cuando sea grande. Gracias al resto de la familia por su apoyo y cariño. ¡Los amo a todos!

Gracias Ellen por creer en mí y darme la confianza de llevar a cabo este proyecto y aprender juntos de aves, admiro tu eficiencia. Gracias Chon y Kathy por los consejos durante los tutorales y por el excelente curso de aves de Chamela. Gracias Julieta y David por las correcciones de este documento y por el tiempo brindado.

Gracias Manque por aparecerte repentinamente en mi vida y traerme mucho amor y alegría, gracias por tomar la mano de fuego y comenzar de nuevo a sonreírle a la vida. ¡Sujétate fuerte que el vuelo apenas comienza!

Gracias Canica, Cometa, Bancy y Pitirijas por ser compañía, alegría, diversión y cariño en los momentos más inesperados.

La realización de esta tesis tan interesante y divertida para mí, no hubiera sido posible sin la ayuda de cada una de las personas que sacó un ave de las redes, la procesó, escribió sus datos, y la liberó. Mil gracias a ustedes mis “pajareros” honorarios que me ayudaron en el trabajo de campo de una u otra manera, en donde quiera que estén les mando un abrazo muy sincero y mi agradecimiento infinito, espero que compartan mi alegría al ver finalizado este esfuerzo.

Gracias a Marinés por aquel maravilloso verano de la ciencia 2004, gracias Karen por tu alegría Chetumaleña, gracias Lupita por tu excelente trabajo y arriesgar tu cara con los tábanos por salvar a las aves, gracias “amigou” César por tu amistad y momentos tan divertidos en Cozumel, gracias Miriam por enseñarme a despertarme bien temprano y mantener la casa limpia, gracias Christopher por toda tu ayuda en el campo y tus bromas.

Gracias Pía Mijares por ser tan divertida y cuidadosa con las aves y hacer los lunches más deliciosos de la selva, gracias Pía Aubert por meter las manos en la biología y no en la licuadora, gracias Dively y Elisa por su amistad y por bailar belly dance para alegrar nuestras vidas, gracias Marisol por tu amistad y buenos consejos, gracias Chucho por nuestra aventura de diarios de motocicleta en aquellos días sin Lazy, gracias Lazy Lizard por tantos kilómetros recorridos y por inspirarme un cuento, gracias Waly por compartir mi gusto por las aves y por tu eficiente trabajo, gracias Denise por tu gran amistad, por los helados y por empollar y criar al maravilloso Diego.

Gracias a Pablo y Alex por su compañía y por ser personajes inigualables en Cozumel. Gracias Rodrigo por tu amistad y por los deliciosos choripanes. Gracias Zaira por tu gusto por las aves y por no reventarles el oído cuando les cantabas como Blancanieves en la selva, gracias Daniel por tu ayuda y por no “quebrar” a las aves sacándoles tanta sangre. Gracias Sandra por tu amistad, por compartirme tu pasión por perros del basurero y por las noches divertidas con los “Rockets”, Gracias Matilde e Ivan por su amistad y por preocuparse por todos los perros y gatos de Cozumel. Gracias Alfredo por dejarme participar en este proyecto donde he aprendido mucho de la maravillosa Isla Cozumel y de su biología, gracias por tu amistad y por compartirnos a tu divertida familia.

Gracias Cozumel por ser una isla maravillosa y única a pesar de la presión humana y los huracanes, gracias por dejarme disfrutar estos 2 años maravillosos entre las ramas de tu selva.

Gracias a todos por todos los momentos inolvidables en Cozumel, por madrugar temprano conmigo, por las pláticas, por las alegrías, por el cansancio y las insoladas, por las visitas al hospital, por los atardeceres en la playa y las noches de luna en el Neptuno. Gracias a todos por ser parte de este proyecto del que me llevo nuevas amistades, nuevos conocimientos, maravillosas experiencias, y muchas satisfacciones.

Gracias a todos mis amigos de la UDLA: Ana Laura, Ivete, Oscar, Gaby y Elisa de nuevo, por compartir este camino en el que seguimos creciendo juntos en Morelia. Gracias especiales a Laurita por seguir cerca de mí, por tanto cariño y por ser mi familia, admiro lo que estas haciendo por tu mamá, tienes un corazón y una fuerza enormes. Gracias mamá Celia por abrazar fuerte a la vida. Gracias a Pavka por tu amistad tan leal y por darle sazón a nuestras vidas con el emporio de la empanada. Gracias Toño, Pablo, Pavka y Rafa por los buenos momentos en Pera 134. Gracias a todos los amigos y compañeros del CIECO y el posgrado.

Gracias Noemí, Dante y Vero por seguir siendo excelentes amigos a pesar del tiempo. Gracias a todos mis amigos regados por México y el Mundo, por estar al pendiente de mí a pesar de las distancias, por hacerse sentir siempre a mi lado.

Al final lo más importante que aprendo de las aves es que ningún huracán debe detener nuestras alas para conseguir el próximo fruto aunque esté del otro lado de un peligroso camino, y así poder regresar a nuestro nido con el alma y el corazón satisfechos.

Dedicada a todos ustedes que vuelan libres a mi lado...

CONTENIDO

Resumen.....	I
1. Introducción General.....	1
2. Área de Estudio.....	3
2.1. Localización.....	3
2.2. Clima.....	3
2.2.1. Huracanes.....	4
2.3. Tipos de Vegetación.....	5
2.4. Fauna.....	6
2.4.1. Avifauna de Cozumel.....	8
2.5. Actividades Humanas.....	10
2.5.1. Historia Antigua y Principales Actividades Económicas de Cozumel...10	
2.5.2. Caminos.....	11
3. Capítulo I: “Caminos como Barreras para el Movimiento de Aves de Sotobosque en la Selva Mediana Subcaducifolia de la Isla Cozumel”.....	13
3.1. Introducción.....	13
3.2. Métodos.....	14
3.2.1. Sitio de Estudio.....	14
3.2.2. Diseño Experimental.....	15
3.2.3. Captura de Aves.....	16
3.2.4. Análisis de Datos.....	17
3.3. Resultados.....	20
3.4. Discusión.....	34
3.5. Conclusiones.....	39

4. Capítulo II: “Efectos de Huracanes sobre Poblaciones de Aves de Sotobosque de la Selva Mediana Subcaducifolia de la Isla Cozumel”	40
4.1. Introducción.....	40
4.2. Métodos.....	41
4.2.1. Sitio de Estudio.....	41
4.2.2. Captura de Aves.....	43
4.2.3. Análisis de Datos.....	43
4.3. Resultados.....	46
4.4. Discusión.....	55
4.5. Conclusiones.....	58
5. Conclusiones y Recomendaciones Generales.....	58
6. Literatura citada.....	60
7. Apéndices.....	64

I. RESUMEN

En el presente trabajo se estudian los efectos de dos perturbaciones, una natural y otra antropogénica, sobre la comunidad de aves. Los objetivos del primer capítulo del trabajo fueron determinar si los caminos de tres diferentes anchuras, actúan como barrera para el movimiento de aves del sotobosque de la selva mediana subcaducifolia en la Isla Cozumel-México y cuantificar la magnitud de tal efecto. Se comparó la proporción de movimientos de aves cruzando caminos (cruces), con la proporción de aves que se mueven la misma distancia sin cruzar caminos (movimientos control). Se utilizaron sitios con caminos de tres anchuras: 3, 9 y 19m. En cada sitio se colocaron tres líneas paralelas de redes de niebla de 12.5 m de largo: la primera y segunda línea a 5 m de ambos bordes del camino, y la tercera línea de tal manera que la distancia entre la segunda y tercera fuera igual que la distancia entre las dos primeras. Utilizando la razón = cruces/movimientos control, se encontró un efecto barrera para las tres anchuras de camino. Este efecto aumentó al aumentar la anchura de los caminos, reduciéndose el número de vuelos con respecto a lo esperado un 9, 12 y 55% en caminos de 3, 9 y 19m de ancho, respectivamente. También se encontró una relación negativa entre la distancia promedio de vuelo y la anchura de caminos. La distancia promedio de movimientos se redujo de 40 m en sitios con caminos de 3 m, a casi la mitad (23m) en sitios con caminos de 19 m. Se encontró que al menos 42 especies usan el sotobosque de esta selva, sin embargo, sólo 12 especies (28%) cruzaron los caminos. Los caminos en Cozumel actúan como barreras para el movimiento de las aves del sotobosque de la selva. El efecto barrera aumenta a medida que aumenta la anchura del camino. El objetivo principal del segundo capítulo del trabajo fue determinar la magnitud de los efectos que los huracanes Emily y Wilma, tuvieron sobre las aves de sotobosque de la selva mediana subcaducifolia en la Isla Cozumel, además de cuantificar su magnitud. Para ello se utilizaron datos de cinco muestreos de capturas con redes de niebla llevados a cabo cada seis meses: tres muestreos previos a los huracanes, uno posterior a Emily, y uno más posterior al huracán Wilma. Los datos permitieron comparar el número de capturas y recapturas antes y después de los huracanes como medida de la abundancia relativa de las especies. También se determinó la riqueza de especies para todos los muestreos. Se comparó la relación peso/tamaño ala por especie como un índice del efecto que la escasez de recursos disponibles luego de los fenómenos naturales tuvo sobre las aves. Se encontró una reducción de casi el 60% del número de capturas en el invierno luego de los huracanes, respecto al mismo periodo de invierno para el año anterior. También se encontró una disminución del 45% en la riqueza de especies residentes y migratorias. Los resultados también muestran una reducción de hasta 45% en peso promedio en especies que incluyen algunas endémicas de Cozumel, lo que refleja de manera indirecta la escasez de alimento disponible en la selva. Los datos indican claramente que los huracanes tuvieron varios efectos negativos notables sobre la comunidad de aves de sotobosque de la selva mediana subcaducifolia de la Isla Cozumel.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Una perturbación se define como un evento relativamente discreto en el tiempo y el espacio que causa cambios en la disponibilidad de recursos y/o en el ambiente físico y que consecuentemente altera la estructura de las poblaciones, comunidades y ecosistemas; causando cambios en la disponibilidad de recursos y/o en el ambiente físico (Picket *et al.* 1999). Existen perturbaciones naturales como incendios, inundaciones, erupciones volcánicas y huracanes. Las actividades humanas han alterado la frecuencia y la intensidad de muchas perturbaciones naturales, pero además han producido nuevos tipos de perturbaciones tales como la cacería, la deforestación o la construcción de ciudades y carreteras. Muchas perturbaciones humanas tienen efectos ecológicos similares a las perturbaciones naturales, de modo que el estudio conjunto de ambos tipos de perturbación permite un entendimiento más completo de cómo se ven afectados los componentes y procesos que constituyen y regulan un ecosistema (Chapin *et al.* 2002). En el presente trabajo se estudian los efectos de dos perturbaciones, una natural y otra antropogénica, sobre la comunidad de aves. El estudio se llevó a cabo en la selva mediana subcaducifolia de la Isla Cozumel en el Caribe Mexicano.

El primer objetivo del trabajo fue determinar si los caminos tienen efectos negativos sobre el movimiento de las aves del sotobosque. Existen muchos efectos directos e indirectos de los caminos sobre la biota, como son: pérdida de hábitat, alteraciones del hábitat adyacente, cambios de configuración del paisaje, efectos de borde hacia ambos lados desde el camino, penetración de fauna invasora y ajena, perturbación visual, acústica y mecánica, fragmentación de poblaciones, mortalidad por atropellamiento, y efecto de barrera para el movimiento de animales (Goosem 1997). Este trabajo se enfoca en el efecto de barrera que provocan los caminos de tres diferentes anchuras. Existen pocos trabajos que hayan estudiado el efecto de la anchura de caminos sobre movimientos de aves de sotobosque, y aun menos en el neotrópico (Forman & Alexander 1998). Conocer la magnitud del efecto de barrera de los caminos para los movimientos de animales dinámicos como las aves, no sólo nos da

información para el grupo taxonómico en cuestión, sino que puede darnos una idea del efecto que pueden tener los caminos sobre animales menos móviles. En el primer capítulo de esta tesis se presentan datos que evalúan el efecto de los caminos sobre la riqueza y abundancia de especies de aves, y sobre su tasa de captura y recaptura, y la cantidad de movimientos, en tres anchos de camino. El presente trabajo espera ser un precedente en el estudio de la ecología de ecosistemas con caminos y carreteras en México, lo cual cobra gran importancia si se toma en cuenta que México posee una red de carreteras de 243,000 km lineales que atraviesan los principales ecosistemas del país (SCT 2002).

El trabajo que se presenta en el segundo capítulo se originó porque al desarrollar el trabajo de campo para evaluar el impacto de los caminos sobre las aves, Cozumel se vio impactada fuertemente por los huracanes Emily (17 de julio) y Wilma (19 de octubre) durante el verano del 2005. Como consecuencia, se decidió evaluar también el efecto de los huracanes en la misma comunidad de aves que se estudiaba, pues pocos trabajos que hayan estudiado el efecto de los huracanes sobre las comunidades de aves de sotobosque, cuentan con datos anteriores y posteriores al impacto de estos (Wunderle *et al.* 1992). Las respuestas de poblaciones de plantas y animales a perturbaciones de este tipo proveen información clave para el entendimiento de la estructura y dinámica de las comunidades en ecosistemas terrestres que son periódicamente afectados por huracanes. En el segundo capítulo de esta tesis se pueden encontrar comparaciones de diversas variables de la comunidad de aves del sotobosque cuantificadas antes y después de los huracanes Emily y Wilma. En particular se comparó las tasas de captura y recaptura (abundancia), la riqueza de especies, y medidas morfométricas como la condición corporal de los individuos. Este capítulo también será un antecedente, con datos cuantitativos del impacto que los huracanes pueden tener sobre las aves del sotobosque de la selva de la Isla Cozumel. Comenzar a entender los efectos de los huracanes en Cozumel es muy importante si se toma en cuenta que la isla es golpeada por un

huracán de fuerte magnitud cada 10 años en promedio (Antochiw & Dachary 1991), lo que sin duda afecta de manera decisiva el funcionamiento y la estructura de este ecosistema.

En general, con esta tesis se pretende contribuir al entendimiento de las diferentes respuestas que presenta una comunidad de aves neotropicales tanto a perturbaciones antropogénicas (camino) como naturales (huracanes) y comparar los efectos específicos y relativos de ambas.

2. AREA DE ESTUDIO

2.1. Localización

El estudio se llevó a cabo en la Isla Cozumel, localizada 17.5 km frente a la costa Noreste del estado de Quintana Roo, México, en el Mar Caribe (20°16' a 20°36' N y 86°44' a 87°02' O). La isla originada durante el plioceno-pleistoceno (5.3 millones de años – 10,000 años), está formada del mismo material calizo que constituye a la Península de Yucatán, y tiene un área de aproximadamente 480 km², con 40 km de longitud y 17 km de anchura (Téllez *et al.* 1989).

2.2. Clima

Cozumel está influida por cálidas aguas marinas y vientos constantes del Este. Estos dos factores, además del pequeño tamaño de la isla, producen condiciones climáticas casi homogéneas. Cozumel presenta un clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano de 40 mm/mes (García 1973). La oscilación de temperaturas mensuales a lo largo del año es muy pequeña (menos de 5 ° C), por lo que la temperatura media de 25.5 ° C, es uniforme durante casi todos los meses del año. La variación de la temperatura diaria es pequeña, con excepción de la temporada invernal (diciembre – febrero) cuando las variaciones diarias de temperatura pueden ser de casi 20 ° C. Los valores extremos de temperatura registrados son 6 ° C para la mínima y 39 ° C para la máxima (García 1973). La temperatura está fuertemente determinada por cambios en los vientos y la humedad. El periodo más frío se da de diciembre a febrero, cuando vientos fríos llamados “nortes”, afectan a la isla y la humedad es

moderadamente baja. El periodo caliente ocurre de mayo a septiembre, cuando altas temperaturas y humedad son inducidas por el incremento de la radiación solar y la acción de vientos muy húmedos que soplan desde el Océano Atlántico y el Mar Caribe (García 1973).

En la región se registra una precipitación anual de 1505 mm con una estación de lluvia con dos picos máximos, y una estación seca (INEGI 1994). La estacionalidad en la Isla Cozumel se debe a la irregularidad de la distribución de las lluvias a través del año. Durante los meses calientes, los patrones de circulación del viento transportan vapor de agua desde el Océano Atlántico y el Mar Caribe hacia el continente, causando precipitaciones. La estación de lluvias ocurre desde finales de mayo hasta octubre, con un periodo intermedio relativamente seco durante julio y agosto. La precipitación mensual, presenta sus valores máximos en los meses de junio y septiembre – octubre, siendo de 190 y 220 mm al mes. La precipitación mensual mínima ocurre en marzo-abril con un promedio de 45 mm al mes (INEGI 1994).

2.2.1. Huracanes

La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA por sus siglas en inglés), divide a los huracanes en cinco categorías según la escala Saffir-Simpson de daño potencial. Los vientos soplan desde 119 kilómetros por hora en la categoría 1, hasta vientos de más de 250 kilómetros por hora para la categoría 5. El poder de un huracán promedio es equivalente al liberado por medio millón de bombas atómicas (Archer 1991).

México es uno de los países más afectados por estos ciclones tropicales y es probablemente la única región que recibe efectos de huracanes provenientes de las diferentes zonas de origen ciclónico en el Pacífico, Atlántico y Caribe. En las zonas de origen los huracanes aparecen con distinta intensidad, la cual crece a medida que progresa la temporada de huracanes, que se extiende desde la última semana de mayo hasta finales de octubre o comienzos de noviembre.

Los registros históricos para el periodo 1871-1999 muestran que la Península de Yucatán y en particular el estado de Quintana Roo, son muy propensos a ser afectados por los ciclones tropicales que entran a tierra, siendo afectado por el 45.3% del total de ciclones que entran a tierra (Antochiw & Dachary 1991). Además, esta región ha sido afectada por la trayectoria de los más grandes huracanes, como en el caso reciente de Wilma en octubre del 2005 (ver Tabla 1).

En la Isla Cozumel, los huracanes en general tienen una frecuencia promedio de uno cada 10 años. Los huracanes más antiguos del siglo XX, de los que se tiene registros son: el 13 de agosto de 1903; el 23 de agosto de 1933, cuando se perdieron 70% de los árboles frutales y 40 km de selva rica en zapote; el 25 de agosto de 1938; y el 28 de agosto de 1942. Los cronistas de la época narran que los huracanes eran muy destructivos. (Antochiw & Dachary 1991).

Tabla 1. Principales huracanes que afectaron las costas de Quintana Roo de 1988-2005 (Servicio Meteorológico Nacional 2005)

Huracán	Efectos en tierra
13 septiembre, 1988 "Gilberto", categoría 5	Record de presión más baja hasta el momento (888 mb). Vientos de más de 250 km/h. Afectó a Cozumel.
27 sept- 5 octubre, 1995 "Opal", categoría 3	Vientos de 250 a 300 km/h en rachas.
8 – 20 octubre, 1995 "Roxane", categoría 4	Viento de 185 a 215 km/h en rachas.
21 oct – 5 nov, 1998 "Mitch", categoría 5	Vientos máximos de 185 km/h, con rachas de hasta 345 km/h. Afectó a Cozumel.
17 y 18 julio, 2005 "Emily", categoría 4	Vientos máximos de 215 km/h, con rachas de hasta 260 km/h.
18 – 22 octubre, 2005 "Wilma", categoría 5	Vientos máximos de 240 km/h, con rachas de hasta 295 km/h. Nuevo record de presión más baja en el Atlántico (882 mb).

2.3. Tipos de vegetación

La flora de Cozumel representa aproximadamente el 40% de la reportada para todo el estado de Quintana Roo (Téllez *et al.* 1989). Esto es muy significativo, si se toma en cuenta que la isla representa únicamente el 10% del área total del estado. La flora de Cozumel está compuesta por 105 familias de plantas vasculares. Del número total de familias, 15 representan el 57% de la flora, siendo la familia Leguminosae la familia más rica en la flora de la isla (Téllez *et al.* 1989).

La isla está cubierta por diferentes tipos de vegetación, incluyendo los siguientes según la clasificación de Téllez *et al.* (1989): selva mediana subcaducifolia, 28,600 ha (59%); selva baja subcaducifolia, 6,300 ha (13%); manglar, 3,100 ha (6%); tasistal, cuyo nombre proviene de una palma; tular; y vegetación halófila o dunas costeras. La mayor parte de la isla está cubierta por selva mediana subcaducifolia, tipo de vegetación en el que se llevó a cabo el presente estudio.

Selva mediana subcaducifolia.- Está constituida primordialmente por dos estratos arbóreos con una altura aproximada de 8 y 20 m respectivamente. Existe un escaso estrato de sotobosque compuesto principalmente por individuos jóvenes de las especies que dominan los estratos arbóreos. El suelo está poco desarrollado y es pobre en materia orgánica. Sin embargo, existen zonas, principalmente en el centro de la isla, donde este tipo de vegetación es más complejo, probablemente por una mayor acumulación de suelo, presentando un estrato arbustivo bien definido fisionómica y florísticamente, con algunas trepadoras y epífitas (Téllez *et al.* 1989).

Alrededor del 50% de las especies de árboles y lianas son caducifolias. Entre las especies arbóreas abundantes en este tipo de vegetación se encuentran *Manilkara zapota* (zapote), *Esenbeckia pentaphylla* (hoocop), *E. berlandieri*, *Calliandra belizensis*, *Cedrela odorata* (cedro rojo), *Vitex gaumeri*, *Psidium sartorianum* (pichiche), *Bursera simaruba* (chacah), *Metopium brownei* (chechem), *Lysiloma latisiliqua* (tzuk-te), *Pithecellobium platylobum* (chacojo), *Piscidia piscipula*, *Picrammia andicola*, *Pithecellobium* sp., *Lysiloma latisiliqua*, *Ceiba aesculifolia* (ceiba), *Mastichodendron gaumeri*, *Gliricida sepium*, *Caesalpinia violacea* y *C. gaumeri* (kitamche) (Téllez *et al.* 1989). Dentro de las trepadoras es frecuente *Pisonia aculeata*, mientras que en el sotobosque son comunes las plantas jóvenes de *Esenbeckia berlandieri*, *Guettarda elliptica*, *Gliricida sepium*, *Coccoloba cozumelensis*, y *Mimosa* sp., entre otras. (Téllez *et al.* 1989). No existen especies vegetales endémicas ni amenazadas para este tipo de vegetación en la Isla Cozumel.

2.4. Fauna

Los ecosistemas insulares constituyen sitios de enorme importancia en la conservación de la biodiversidad. Esta importancia está basada en la contribución a la diversidad biológica global que se deriva de la presencia de especies endémicas, residentes y migratorias que viven y/o llegan a ellas. Cozumel ha sido reconocida a nivel mundial por la Alianza para la No Extinción (AZE, por sus siglas en inglés), como sitio prioritario para la conservación de especies amenazadas que encuentran en ella su único refugio (AZE 2005).

Entre los anfibios que se encuentran en Cozumel pueden mencionarse a *Bufo marinus*, *Leptodactylus labialis*, *Hyla staufferi* y *Smilisca baudini*. En cuanto a los reptiles se destacan las tortugas marinas que anidan en las playas de la costa Este como la caguama (*Caretta caretta*), la blanca o verde (*Chelonia mydas*), y la carey (*Eretmochelys imbricata*). Esta última no anida, pero se aparea y se alimenta en los alrededores. Por otro lado se encuentran tortugas dulceacuícolas como *Kinosternon cruentatum*, *Geomyda areolata*, *Pseudemys scripta*, y también el cocodrilo *Crocodylus acutus*. Además existen lagartos como *Aristelliger georgensis*, *Anolis limifrons*, *Basiliscus vittatus*, *Iguana iguana*, *Ctenosaura similis*, *Sceloporus cozumelae*, *Mabuya brachypoda*, y culebras como *Cnemidophorus cozumelus*, *Boa constrictor*, *Leptodeira frenata*, *Oxybellis aeneus*, y *Thamnophis proximans* (SEMARNAT 2005).

La mastofauna de Cozumel constituye para la península de Yucatán, la zona insular caribeña más importante en cuanto a endemismos. Los mamíferos presentes son: *Didelphis marsupialis cozumelae* (tlacuache o zorro), los murciélagos *Artibeus jamaicensis yucatanicus*, *A. literatus palmarum*, *Micronycteris magalotis mexicana*, *Dermanura phaeotis phaeotis* y *Natalus stramineus saturatus*, los ratones endémicos y amenazados *Oryzomys palustris cozumelae*, *Reithrodontomys spectabilis* y *Peromyscus leucopus cozumelae*, los roedores *Dasyprocta punctata yucatanica* (sereque) y *Cuniculus paca* (tepezcuintle), los carnívoros

Urocyon cinereoargenteus (zorra gris), *Procyon pygmaeus* (mapache enano, en peligro de extinción y endémico), *Nasua nelsoni* (tejón de Cozumel; amenazado y endémico) y el artiodáctilo, *Tajassu tajacu nanus* (jabalí o pecarí de collar) (SEMARNAT 2005).

Además de las ya mencionadas, en cuanto a especies reportadas como amenazadas o en peligro de extinción y protegidas por ley se encuentran el pato (*Cairina moschata*), el águila pescadora (*Pandion haliaetus*), el flamenco (*Phoenicopterus ruber*) y el manatí (*Trichechus manatus*). Los dos últimos no han sido registrados recientemente, pero es probable su existencia en la parte norte de la isla (SEMARNAT 2005).

2.4.1. Avifauna de Cozumel

Para la Isla Cozumel la mayoría de los estudios ornitológicos publicados hasta la fecha han sido poco exhaustivos o hechos en expediciones y visitas cortas en áreas limitadas de la isla, aportando principalmente inventarios y adiciones de nuevos registros a los listados ya existentes. La mayoría son bastante antiguos (*e.g.* Ridway 1885; Salvin 1885, 1889; y Selater 1890). Entre los estudios más recientes destaca el trabajo de Paynter (1955) y treinta años después, el trabajo de López Ornat *et al.* (1989), siendo este último el que ha aportado un mayor número de nuevos registros de distribución para la península de Yucatán y algunos para sus islas.

Las publicaciones anteriormente citadas mencionan que el número de especies de aves registradas en el área de Cozumel es de 143, incluyendo especies terrestres y acuáticas (e incluyendo registros que se han comprobado posteriormente como erróneos). De las especies registradas, dos son endémicas y 16 corresponden a subespecies endémicas (Tabla 2).

Tabla 2. Listado de especies (e) y subespecies (s) de aves endémicas para Cozumel.

	Nivel
<i>Vireo bairdi</i>	e
<i>Toxostoma guttatum</i>	e
<i>Buteo magnirostris gracilis</i>	s
<i>Crax rubra griscomi</i>	s
<i>Chlorostilbon canivetii forficatus</i>	s

<i>Melanerpes pygmaeus pygmaeus</i>	S
<i>Melanerpes aurifrons leei</i>	S
<i>Elaenia martinica remota</i>	S
<i>Attila spadiceus cozumelae</i>	S
<i>Troglodytes aedon beani</i>	S
<i>Polioptila caerulea cozumelae</i>	S
<i>Melanoptila glabirostris cozumelana</i>	S
<i>Cyclarhis gujanensis insularis</i>	S
<i>Dendorica petechia rufivertex</i>	S
<i>Spindalis zena benedicti</i>	S
<i>Piranga roseogularis cozumelae</i>	S
<i>Cardinalis cardinalis saturata</i>	S
<i>Tiaris olivacea intermedia</i>	S

El trabajo más reciente e intensivo de diversidad avifaunística en Cozumel, fue el realizado por Macouzet (1997), quien llevó a cabo muestreos durante un año en todos los tipos de vegetación de la Isla, registrando un total de 115 especies terrestres y marinas con diferentes estatus (Tabla 3). En el Apéndice 1, se presenta una lista de especies de aves registradas en Cozumel completada a partir de tres fuentes bibliográficas (Paynter 1955, Howell & Webb 1995, y Macouzet 1997)

Tabla 3. Estatus de las especies registradas en Cozumel según Macouzet (1997).

Estatus de las especies de aves de Cozumel	número
Especies residentes	52
Especies invernantes	28
Especies migratorias de paso	26
Especies migratorias que anidan	5
Especies ocasionales	4
TOTAL	115

En específico para la selva mediana subcaducifolia de interés particular en el presente trabajo, Macouzet (1997) reporta un total de 49 especies, de las cuales 31 son residentes, 3 especies migratorias que anidan en Cozumel, 2 especies migratorias de paso y 13 especies invernantes.

2.5. ACTIVIDADES HUMANAS

2.5.1. Historia Antigua y Principales Actividades Económicas de Cozumel

Los restos arqueológicos indican que la primera etapa de vida humana en Cozumel se extiende desde el 300 AC hasta el 700 DC y se caracteriza por el reducido número de sus pobladores mayas. Posteriormente existió en Cozumel influencia externa al mundo maya, habiendo un incremento de la población y de comercio marítimo (Antochiw & Dachary 1991). Cozumel fue un centro de peregrinaciones religiosas, y por lo tanto un centro de intercambio y actividades comerciales en tiempos precolombinos (Freidle & Sabloff 1984).

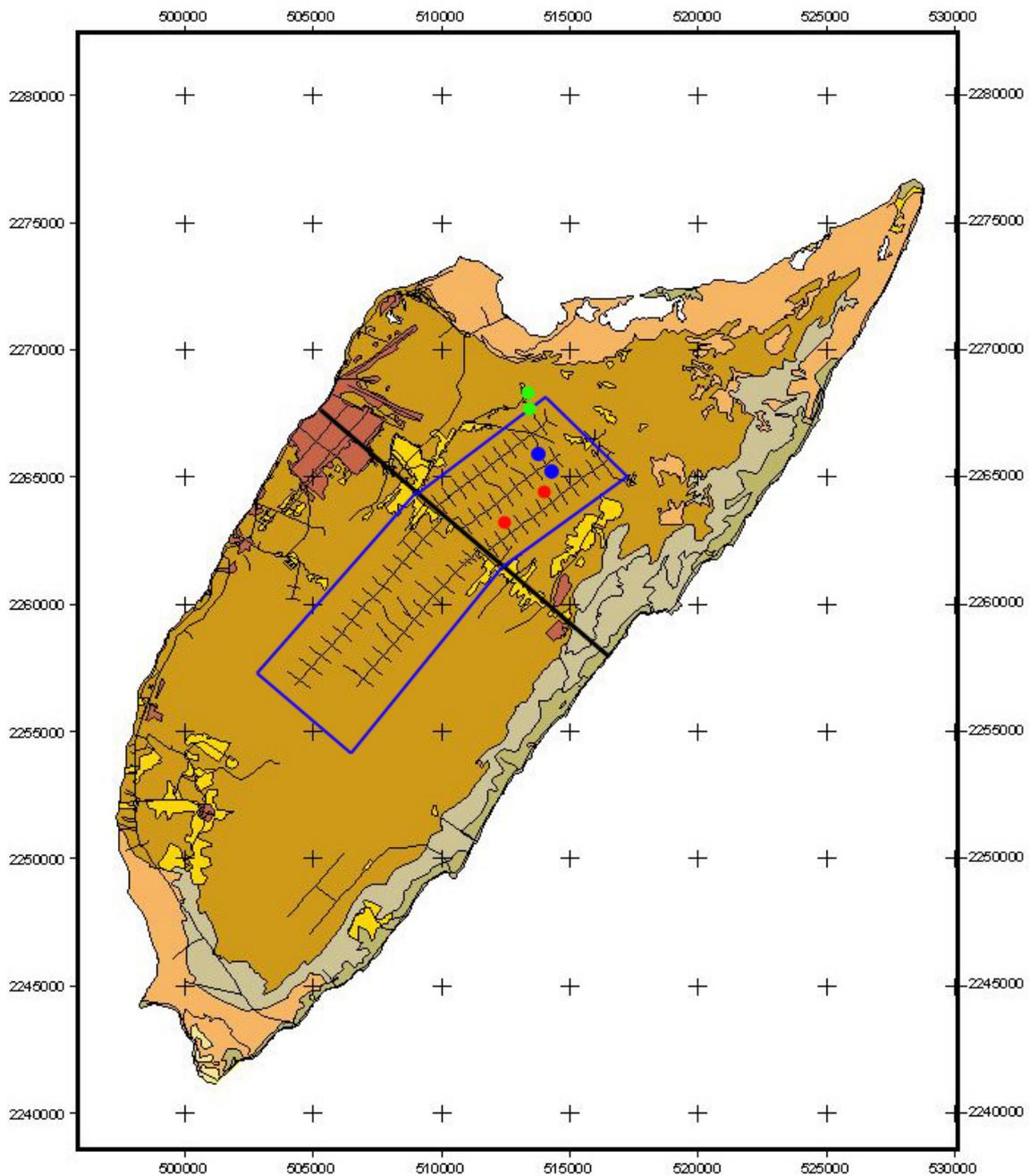
En 1518 Cozumel fue descubierta por el español Francisco Hernández de Córdoba, cuando tenía tan solo 9,000 habitantes. La llegada de los españoles provocó una reducción en el número de habitantes de Cozumel.

En las primeras décadas del siglo XX Cozumel se había transformado en un importante puerto de la costa oriente de la Península de Yucatán. La agricultura se convirtió en el motor económico de la isla. Se aprovechaban principalmente los cocos y el henequén de forma industrial, además de hortalizas y frutas como la piña, para autoconsumo. Las frutas y hortalizas fueron los primeros productos que la isla exportó, junto con productos tradicionales del mar, miel y maderas. En la década de los veinte se consolidó como la causa principal de desarrollo económico de aquella época, la explotación del árbol del chicle o chicozapote, del cual se extraía el látex o resina por medio de cortes en la corteza. Durante cuarenta años esta industria trajo riqueza a Cozumel.

La Isla Cozumel, siempre impresionó por su belleza a sus visitantes, desde sus antiguos pobladores mayas hasta los conquistadores, pero es sólo en las últimas tres décadas del siglo XX que el turismo se convirtió en la actividad económica más importante de Cozumel (Antochiw & Dachary 1991). La población actual de Cozumel es de 51,170 habitantes según datos del Gobierno del Estado de Quintana Roo (2005).

2.5.2. Caminos

Cozumel cuenta con una carretera pavimentada de aproximadamente 65 km, que comunica el perímetro sur de la isla. La Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA) de Quintana Roo, provee de agua potable al municipio de Isla Cozumel, a través del “Sistema Cozumel”, que consta de 226 pozos ubicados en la parte central de la isla (Gobierno del Estado de Q. Roo 1987). CAPA tiene en concesión una gran área de selva mediana subcaducifolia en el centro de la isla. El acceso a los pozos es posible gracias a una red de aproximadamente 90 km de caminos constituida por cinco caminos primarios (de aproximadamente 8 km de longitud), que tienen su inicio en la carretera transversal de la isla, y que están atravesados por caminos secundarios (de 1 km de longitud) cada 500 m (ver Figura 1). Los caminos del área de CAPA donde se llevó a cabo este trabajo, tienen distintos anchos que van de los tres a los 19 m. El ancho predominante de los caminos en CAPA es de 3 m, sin embargo se han ampliado algunos caminos por diversos motivos.



Leyenda

- | | | | | | |
|--|-----------------------|--|----------------|--|-------------|
| | Carretera | | Manglar | | Camino 3 m |
| | Alta Presencia Humana | | Dunas Costeras | | Camino 9 m |
| | Baja Presencia Humana | | Selva Baja | | Camino 19 m |
| | Poligono de CAPA | | Selva Mediana | | |
| | Carretera transversal | | Tasista | | |

5 0 5 10 Km

ISLA COZUMEL

Figura 1. Mapa de Isla Cozumel (fuente: Romero-Nájera 2004)

3. CAPÍTULO I

“Caminos como barreras para el movimiento de aves de sotobosque en la selva mediana subcaducifolia de la Isla Cozumel”

3.1. Introducción

Las carreteras y caminos constituyen infraestructura importante y necesaria para el desarrollo de un país. Sin embargo, estos caminos tienen efectos negativos sobre la ecología y conservación de los ecosistemas naturales en los que se encuentran. México posee una red de carreteras de más de 243,000 km (SCT 2002). A pesar de que la construcción de caminos es una acción humana muy agresiva en contra de los ecosistemas naturales, relativamente pocos estudios se han realizado sobre los efectos de los caminos en Norte América (Forman & Alexander 1998) y en particular en las regiones con ecosistemas tropicales.

El área de influencia y efecto de los caminos no se limita a la superficie ocupada por el camino propiamente dicho, sino que se extiende hacia un área mucho más grande (Séller & Eriksson 1997). Entre los principales efectos ecológicos negativos de los caminos tenemos: pérdida de hábitat, alteraciones del hábitat adyacente, cambios de configuración del paisaje, efectos de borde hacia ambos lados del el camino, penetración de fauna invasora y ajena, perturbación visual, acústica y mecánica, fragmentación de poblaciones, mortalidad por atropellamiento y barrera para el movimiento de animales (Goosem 1997).

Todos los caminos funcionan como barrera del movimiento de alguna especie animal. Según Seiler y Eriksson 1997, dicho efecto sucede cuando hay fragmentación del paisaje debido a cambios físicos en la conectividad de éste. Los cambios físicos pueden de origen natural como un claro en la vegetación o un río. También existen cambios físicos de origen antropogénico como en este caso, el claro que se abre en la vegetación al construir caminos y carreteras. Existen experimentos que han mostrado que incluso caminos con anchuras de apenas 2.5 m y poco tráfico inhiben los movimientos de varios taxa animales (Goosem 1997,

Forman & Alexander 1998). El efecto barrera de los caminos resulta negativo sobre el movimiento y dispersión de individuos, lo cual tiende a subdividir poblaciones, aumentando su probabilidad de extinción (Forman & Alexander 1998, Bélisle & St. Clair 2001).

Con respecto al efecto barrera que los caminos pueden tener sobre las poblaciones de aves, éste puede variar entre especies y gremios de aves, tipos de hábitats, tipos de caminos y factores medioambientales tales como el clima y la época del año (Forman & Alexander 1998). Este proyecto tuvo como objetivo principal determinar si caminos de tres anchuras diferentes tienen efectos de barrera sobre la avifauna del sotobosque en la Isla Cozumel.

Las preguntas específicas de este estudio fueron: (1) ¿Constituyen los caminos barreras para el movimiento de las aves del sotobosque de la Isla Cozumel?, (2) ¿La magnitud del efecto de barrera es igual en caminos de distintas anchuras?, (3) ¿Cómo responden al efecto de barrera las diferentes especies y gremios funcionales de aves como son aves residentes y migratorias? Se esperaba que, por lo menos para algunas especies de aves, algún camino constituyera una barrera para su movimiento y se esperaba también un menor movimiento de aves al aumentar el ancho de los mismos. Finalmente se esperaba encontrar diferencias entre las respuestas de diferentes gremios o especies de aves, por ejemplo que aves que normalmente utilizan áreas abiertas o de vegetación secundaria fueran menos afectadas que aves que usan exclusivamente la selva mediana no perturbada. Igualmente, esperaba que las aves migratorias fueran menos afectadas que las residentes, ya que realizan sus recorridos a través de kilómetros de paisajes diversos atravesando autopistas, lagos, y ciudades, que son otras fuentes de perturbación a los que pueden estar más acostumbradas.

3.2. Métodos

3.2.1. Sitio de Estudio

El estudio se llevó a cabo en la Isla Cozumel, localizada 17.5 km frente a la costa noreste del estado de Quintana Roo, México, en el Mar Caribe ($20^{\circ} 16'$ a $20^{\circ} 36'$ N y $86^{\circ} 44'$ a $87^{\circ} 02'$ O; Figura 1). Cozumel tiene un área de aproximadamente 480 km². La isla tiene cinco tipos

de vegetación predominando (>60% del área) la selva mediana subcaducifolia, la cual tiene un dosel de aproximadamente 20 m de altura (Téllez, *et al.* 1989). Cozumel presenta un moderado clima cálido y húmedo, caracterizado por un pequeño rango anual de relativamente altas temperaturas mensuales y dos estaciones lluviosas (Köppen, modif. García 1973). La temperatura media anual es de 25.5° C, y la precipitación media anual es de 1505 mm (INEGI 1994).

3.2.2. Diseño Experimental

En el presente trabajo se usaron caminos que sólo difirieron en su anchura, es decir, otros factores tales como el tipo de vegetación, tráfico vehicular y clima, fueron muy similares para todos los sitios de estudio. Se seleccionaron caminos de tres anchuras distintas, con dos réplicas por cada tratamiento de anchura, para un total de seis sitios. Las anchuras promedio aproximadas de los caminos fueron 3 m, 9 m y 19 m. En cada sitio se establecieron tres transectos paralelos a cada camino: uno a un lado del camino (transecto A, Fig. 2) y los otros dos al otro lado (transectos B y C, Fig. 2), en donde se colocaron las redes de niebla para la captura de aves.

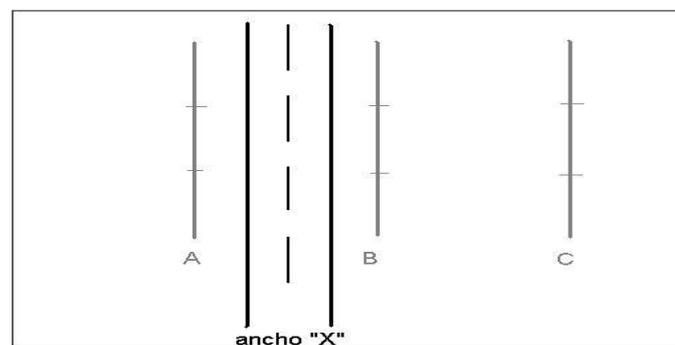


Figura 2. Disposición de transectos de redes paralelos a los caminos de tres anchuras $X = 3, 9$ ó 19 m

Los transectos A y B se establecieron a 5 m del borde del camino, a ambos lados. El transecto C sirvió como testigo de tal manera que la distancia entre el transecto B y C fue la misma que entre A y B (la cual dependió del ancho del camino). De esta manera, la distancia entre transectos fue de 13 m para los caminos de 3 m, de 19 m para los caminos de 9 m de

ancho, y de 29 m para los caminos de 19 m de ancho. Cada uno de los tres transectos paralelos tuvo una longitud de 72 m, y para motivos de muestreo estuvo dividido en dos secciones de 36 m de longitud cada una.

3.2.3. Captura de Aves

En cada transecto se capturaron aves usando seis redes de niebla de 12 m de largo x 2 m de alto, y apertura de malla de 32 mm para atrapar aves de sotobosque, dispuestas de manera contigua en hilera a lo largo del transecto. Se colocaron nueve redes simultáneamente (tres en cada transecto), durante dos días, primero en la primera sección de 36 m y luego por dos días más en la segunda sección. De esta manera el muestreo de aves en cada sitio tomó 4 días. Las redes se abrieron al amanecer durante las seis horas posteriores, se revisaron cada media hora para remover las aves atrapadas. Cada ave capturada se identificó a nivel de especie con apoyo de guías de campo (National Geographic 2002 y Howell & Webb 2005) y se marcó con anillas numeradas de aluminio. Además se determinaron el sexo y la edad cada vez que fuera posible con base a dimorfismo sexual y parche de incubación. También se tomaron las siguientes medidas morfométricas: peso, longitud total, longitud de la cola y longitud del ala. Se registraron datos de las recapturas para medir la frecuencia del movimiento de las aves entre transectos en cada camino. Después de procesar un individuo, éste se regresó y liberó en el transecto donde fue capturada originalmente.

El trabajo de campo se llevó a cabo en cuatro periodos de muestreo: dos en verano y dos en invierno, para obtener datos tanto de aves residentes como de aves migratorias, en las siguientes fechas: verano 2004, llevado a cabo del 30 de junio al 8 de agosto del 2004; invierno 2005, realizado del 17 de enero al 20 de febrero del 2005; verano 2005, se llevó a cabo en dos sub-periodos, pre-Emily del 6 al 15 de julio del 2005; y verano pre-Wilma del 25 de septiembre al 18 de octubre del 2005; e invierno 2006 llevado a cabo del 6 de enero al 10 de febrero. En todos los muestreos, salvo los del verano de 2005, se acumularon 1296 horas red en cada uno, en tanto que los dos muestreos de verano 2005, se acumularon menos de

702 horas red en cada uno antes de tener que suspenderlos por la llegada de los huracanes. Debido a la ocurrencia de los huracanes, la mayoría de los análisis hechos para determinar el efecto barrera de los caminos se realizaron con los datos de los dos primeros periodos de muestreo: verano 2005 e invierno 2005, únicamente. Los datos de los otros periodos de muestreo se usaron para determinar el efecto de los huracanes sobre la avifauna (ver Capítulo II).

3.2.4. Análisis de Datos

Tasas de captura y recaptura.- Para obtener las tasas de captura para cada periodo de muestreo se sumaron el número de individuos capturados por primera vez y se dividieron entre el esfuerzo de muestreo de cada periodo ($(\# \text{ aves capturadas/horas red}) \times 100$). De igual manera las tasas de recaptura se obtuvieron utilizando la sumatoria de los individuos ya anillados previamente que se capturaban de nuevo una o más veces. Los porcentajes de recaptura se obtuvieron dividiendo el número de recapturas entre el número total de capturas para cada muestreo. Se analizó el efecto del ancho de los caminos sobre la abundancia de aves capturadas en todos los muestreos y el ancho del camino con un ANOVA de una vía. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SYSTAT 11 (2004).

Diversidad.- Para cada periodo de muestreo se determinó el número total de especies capturadas, así como también el número de capturas por especie con lo cual se determinaron cuáles eran las especies más abundantes. Se realizó una curva de acumulación de especies para evaluar la representatividad que los muestreos tuvieron respecto a la riqueza potencial de aves del sotobosque en el sitio de estudio.

Riqueza de especies por ancho de caminos.- Con el total de los datos de las capturas para todos los muestreos incluyendo los del verano 2005 y los del de invierno 2006, se determinó el número de capturas por especie para cada anchura de camino. Se determinó la normalidad de los datos mediante el estadístico de Shaphiro-Wilk y para determinar si había diferencias de la abundancia relativa de cada especie por el ancho del camino, se realizó un ANOVA de

dos factores con la abundancia relativa de cada una de las 43 especies como niveles del factor dependiente, y el ancho del camino como segundo factor con 3 niveles.

Riqueza de gremios alimenticios.- Con el total de los datos de las capturas para todos los muestreos, se determinaron el número de especies capturadas y la abundancia de individuos capturados por gremio tomando en cuenta la principal fuente de alimento de las aves según Howell & Webb (2005) en cada sitio con diferente anchura de camino. Para comparar la composición de gremios alimenticios del total de aves capturadas se utilizó el número de especies por gremio y el número de individuos por gremio. Se intentó hacer una tabla de contingencia de χ^2 para encontrar diferencias en el número de especies por gremios en cada camino, pero no se pudo realizar debido a que los datos no cumplen con los valores esperados mayores a 5 en el 20% de las celdas. De igual manera se realizó una tabla de contingencia de χ^2 para encontrar diferencias en el número de individuos por gremio en cada camino. Para cumplir las reglas de la prueba estadística de χ^2 se eliminó el gremio de los piscívoros para el análisis, debido a que sólo se tuvo registro de 5 individuos en uno de los caminos.

Movimientos de Aves.- Se utilizaron los datos de todos los muestreos para cuantificar el efecto de los caminos como barreras para el movimiento de las aves, se dividieron los movimientos de las aves marcadas con anillos en dos categorías y se calculó la frecuencia observada en cada una. La primera categoría fue “cruces al camino”, constituidos por movimientos de cualquier red de un lado del camino, hacia otra red del lado contrario, es decir movimientos entre los transectos A y B, y entre los transectos A y C. La segunda categoría fue “movimientos control” e incluyó tanto los movimientos paralelos al camino sobre la misma línea de redes (excluyendo movimientos entre redes inmediatamente contiguas), así como los movimientos perpendiculares que no implican cruce de camino, es decir, movimientos entre los transectos B y C.

Con los datos obtenidos de las dos categorías anteriormente descritas, se obtuvo una “razón de cruces al camino” (RCC) dividiendo los “cruces” entre los “movimientos control”.

$$\text{RCC} = \text{Cruces al Camino} / \text{Movimientos Control}$$

Cuando el valor RCC es mayor a 1, éste indica una mayor proporción de cruces de aves con respecto a los movimientos control, que significa que no hay efecto barrera del camino. Un valor RCC igual a 1 indica que las aves realizan igual número de movimientos control que cruces al camino, lo que significa que no hay efecto barrera del camino. Cuando el valor RCC es menor a 1, éste indica un mayor número de movimientos control respecto a cruces lo cual indicaría que el camino sí tiene un efecto barrera negativo sobre los movimientos de las aves. Para determinar qué tan significativo fue el efecto barrera causado por los caminos, se realizaron pruebas de χ^2 para cada ancho de camino, los valores observados fueron los cruces al camino y se utilizaron como valores esperados, los “movimientos control”. Los valores esperados se corrigieron ligeramente, de tal manera que el número de pares de redes posibles que pudieran documentar un movimiento control, fuera igual al número de pares de redes posibles que pudieran documentar un movimiento cruce. Con el diseño experimental de redes utilizado la probabilidad de detectar “cruces al camino” es 1.09 veces mayor que observar “movimientos control”, por lo que se aplicó la corrección multiplicando los valores control por 1.09. Además, se aplicó una tabla de contingencia para evaluar el número de especies y número de individuos que cruzan o no el camino considerando su estatus residente o migratorio. Para todos los análisis estadísticos realizados en este trabajo, el valor de P que se consideró estadísticamente significativo fue $P < 0.05$ y se tomaron en cuenta todas las restricciones del análisis de χ^2 .

Distancia de Movimientos.- Para determinar el efecto del ancho del camino sobre la distancia de los movimientos de las aves, se determinó la distancia de cada movimiento de los individuos recapturados. Lo anterior se determinó midiendo una línea recta desde el punto medio de la red de captura, hasta el punto medio de la red donde se recapturó, ya fuera del mismo lado o del otro lado del camino (ver Apéndice 4). Con todos los datos de las distancias

calculadas se realizaron correlaciones de Pearson para el muestreo de verano 2004, y para el muestreo de invierno 2005, entre las distancias (m) y el ancho del camino (m).

3.3. Resultados

Tasas de Captura y Recaptura.- Durante el muestreo de verano 2004 se capturaron un total de 660 individuos. La tasa total de recaptura fue del 14 %, y de este porcentaje, el 31% fueron cruces al camino (Apéndice 2 A). Durante el muestreo invierno 2005 se capturaron 268 individuos y la tasa de recaptura, tomando en cuenta solamente capturas de aves anilladas durante ese mismo periodo de muestreo fue del 15 % (muy similar al del muestreo verano 2004) y de este porcentaje el 50% fueron cruces al camino. Sin embargo, el porcentaje acumulado de recapturas durante invierno 2005, es decir tomando en cuenta aves anilladas durante ambos muestreos, fue del 23%, y de este porcentaje, el 58 % fueron cruces de aves de un lado a otro del camino (Apéndice 2 B).

Durante el muestreo verano pre-Emily 2005, se capturaron un total de 152 individuos y la tasa de recaptura fue del 20% del total de las capturas en ese periodo, y de este porcentaje, el 16% fueron cruces al camino (Apéndice 2 C). Durante el muestreo verano pre-Wilma 2005, se capturaron un total de 243 individuos y la tasa de recaptura fue del 17% del total de capturadas en ese periodo, y de ese porcentaje, el 19% fueron cruces de aves de un lado a otro del camino (Apéndice 2 D).

Diversidad de las aves capturadas.- Durante el verano 2004, se capturaron un total de 20 especies (Apéndice 1), siendo las cinco más abundantes: *Melanoptila glabirostris cozumelae* (60 % del total de los individuos capturados), *Vireo magíster* (12 %), *Coereba flaveola* (8 %), *Vireo bairdi* (4 %) y *Troglodytes aedon beani* (4 %). De las anteriores, *Vireo bairdi* es una especie endémica y *Melanoptila glabirostris cozumelae* y *Troglodytes aedon beani* son subespecies endémicas para Isla Cozumel. Las 15 especies restantes representaron en conjunto el 12 % de las capturas. De las 20 especies capturadas, sólo 5 realizaron cruces a los

caminos: *M. glabirostris cozumelae*, *V. magister*, *T. aedon beani*, *Coereba flaveola* y la migratoria *Oporornis formosus*.

En el invierno 2005, se capturaron un total de 28 especies (Apéndice 1 B), siendo las cinco más abundantes: la subespecie endémica *M. glabirostris cozumelae* (34 %), *V. bairdi* (10 %), *Wilsonia citrina* (8 %), *Seiurus aurocapillus* (7 %), y *Helmitheros vermivorous* (4 %), éstas tres últimas migratorias. Las 23 especies restantes representaron el 22 % de las capturas. De las 28 especies capturadas, 7 realizaron cruces a los caminos: *M. glabirostris cozumelae*, *W. citrina*, *Setophaga ruticilla*, *S. aurocapillus*, *V. bairdi*, *H. vermivorous* y *Troglodites aedon beani*.

En el muestreo de verano 2005 antes del huracán Emily, se capturaron un total de 16 especies, de las cuales 3 realizaron cruces a los caminos: *M. glabirostris cozumelae*, *C. flaveola* y *V. magister*. En el muestreo de Verano 2005 posterior al huracán Emily, pero previo al huracán Wilma, se capturaron un total de 36 especies, de las cuales 6 realizaron cruces a los caminos: *M. glabirostris cozumelae*, *C. flaveola*, *Dendroica magnolia*, *Dendroica pensilvanica*, *Mniotilta varia* y *S. aurocapillus*.

En el muestreo de invierno 2006 luego del huracán Wilma, se capturaron un total de 15 especies, de las cuales solamente la especie endémica *V. bairdi* realizó un cruce al camino.

Durante todo el estudio se capturaron un total de 43 especies, de las cuales 12 especies realizaron cruces a los caminos (28%). La curva de acumulación de especies (Fig. 3), relaciona el número de especies acumuladas con los cuatro muestreos (factor tiempo). Se puede observar que se alcanzó la asíntota de la curva con el muestreo de Invierno 2006, al registrarse seis nuevas especies no registradas antes de los huracanes. Se esperaba la captura de hasta 49 especies en la zona de muestreo que son las que Macouzet (1997) reportó para este tipo de vegetación.

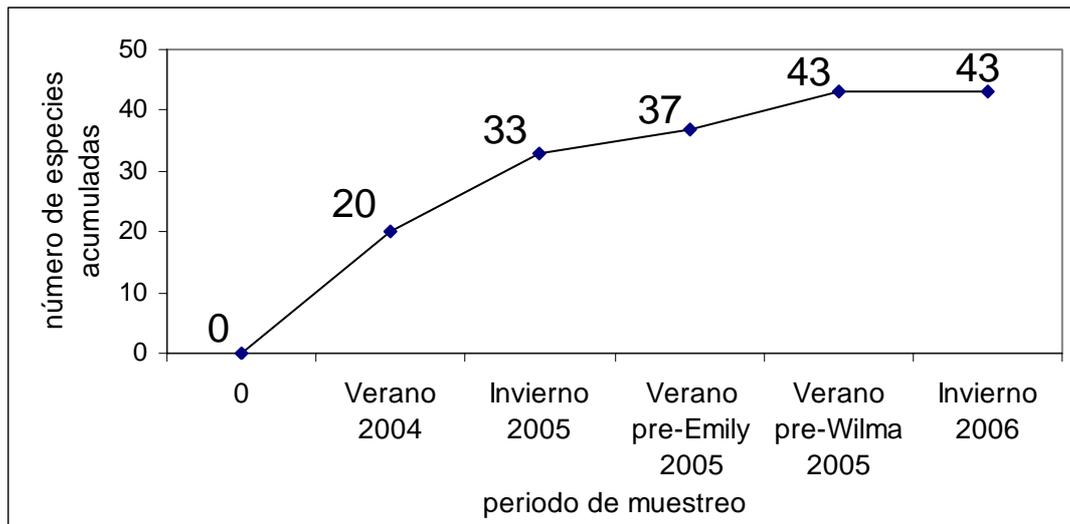


Figura 3. Curva de acumulación de especies por periodo de muestreo

Riqueza de especies capturadas por anchura de caminos.- Para los siguientes resultados se tomaron en cuenta los datos de las aves capturadas durante todos los muestreos. De un total de 43 especies capturadas, 25 especies utilizan alguno de los sitios de las tres anchuras de camino, de las cuales *V. bairdi* es especie endémica, y nueve son subespecies endémicas (Tabla 4). Considerando que el ancho del camino es el único factor que afecta el hábitat que rodea los sitios donde se encuentran los transectos de captura, en la Figura 4 se muestran 14 especies de aves con patrones claros de preferencias con respecto los diferentes anchos de los caminos. Del lado izquierdo de la Figura 4 se presentan siete especies con preferencia por los sitios con caminos angostos (3m), y en el lado derecho se presentan siete especies con preferencia por los sitios con caminos más anchos (19m). Tres especies sólo se capturaron en los sitios con caminos de tres metros de ancho, las tres migratorias (*Dendroica caerulescens*, *Hylocichla mustelina* y *Vireo flavifrons*). En los sitios con caminos de 9 m de ancho, se capturó a dos especies de forma exclusiva, la subespecie endémica (*Cardinalis cardinalis saturata*) y la especie residente, con afinidad a sitios perturbados *Mimus gilvus* (Fig. 4). Existen cinco especies que son compartidas por dos sitios de dos anchos de camino y no presentan ningún tipo de endemismo. Las especies más abundantes en el sitio con camino de 3m, no son tan abundantes en los otros dos sitios de, contrario a lo que sucede con las

especies abundantes del camino de 19m (Fig. 4). De hecho sólo una de estas siete especies más abundantes en el sitio con camino de 3 m (*Dendroica magnolia*) fue capturada también en el sitio con camino de 19m. Lo anterior indica que las aves son menos afectadas en el camino de menor anchura (3m). Los datos utilizados para los análisis de varianza resultaron significativos para la normalidad (Shapiro-Wilk = 0.277, $P = 0.001$). El resultado del ANOVA que se realizó con el número de capturas de cada especie resultó estadísticamente significativo para la abundancia de las distintas especies ($F = 1.785$, g.l. = 43, $P = 0.001$; ver Figura 4). Las especies más abundantes para la sumatoria de los tres anchos de camino fueron *M. glabirostris* (228.1 (capturas x red) x 100)), *C. flaveola* (39.1) y *V. bairdi* (32.7) (no aparecen en Figura 4 pues por su magnitud no son comparables con las demás especies). Las especies menos abundantes fueron *Hylocichla mustelina* (0.396), *Cardinalis cardinalis saturata* (0.396), y *Vireo flavifrons* (0.396) entre otras. El resultado del ANOVA que se realizó con el número de capturas en cada ancho de camino no resultó significativo para la abundancia en los tres anchos distintos, así como también el resultado del ANOVA para la interacción de la abundancia de las distintas especies para los distintos anchos de caminos.

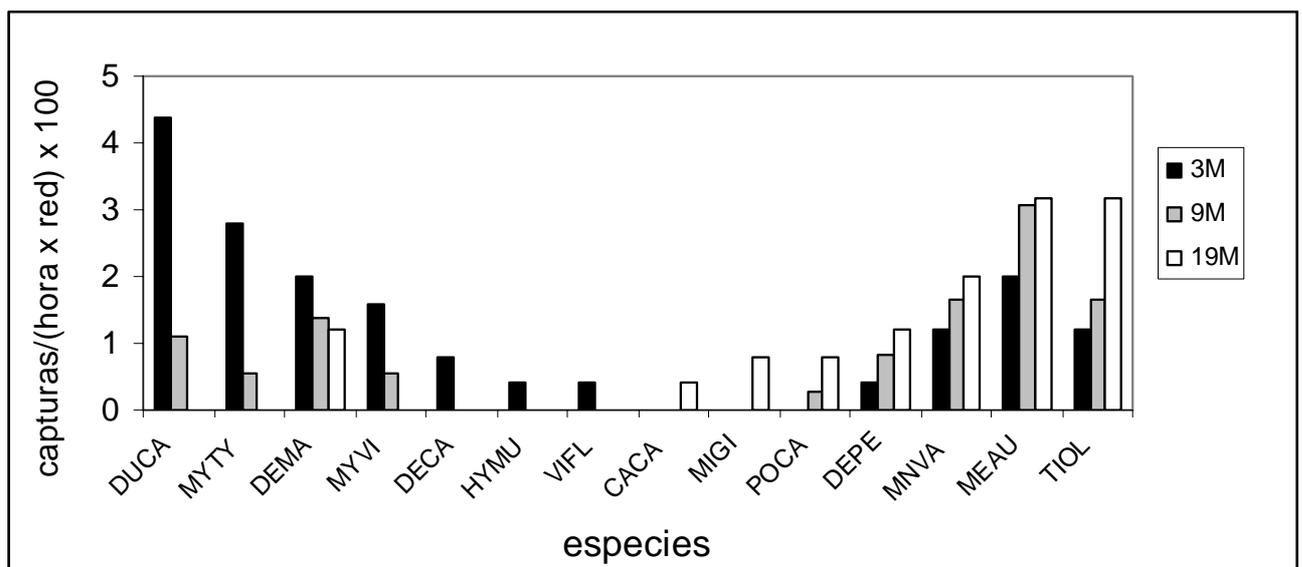


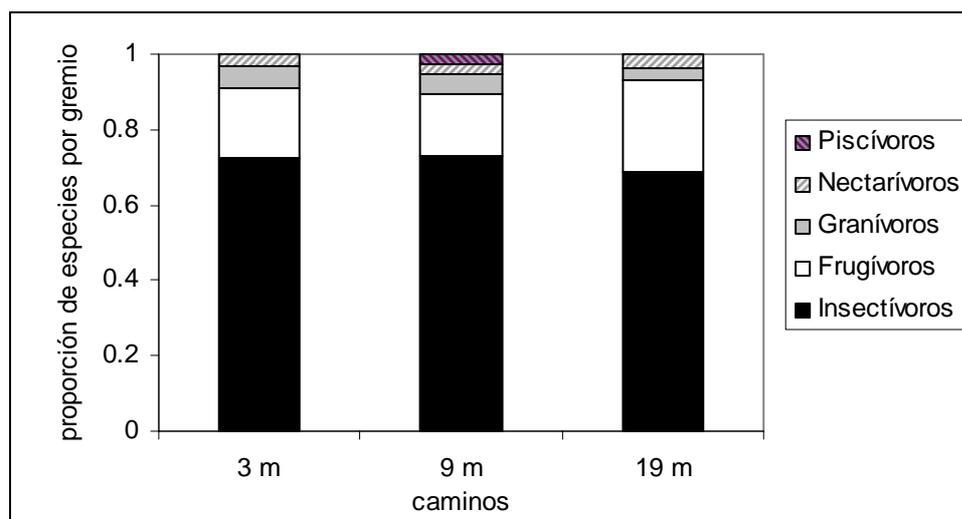
Figura 4. Las 14 especies más capturables ordenadas al lado izquierdo las más abundantes en el camino de 3 m, y a la derecha las más abundantes en el camino de 19 m (ver referencia de especies en la Tabla 4)

Riqueza de gremios de aves capturadas.- De las 43 especies capturadas, 30 especies son insectívoras (70%), ocho son frugívoras (19%), dos especies son granívoras (5%), y las dos especies restantes son, una nectarívora, y una piscívora según Howell & Webb (2005) (Tabla 4, Fig. 5). En cuanto a gremios exclusivos por sitios con diferente tipo de caminos, sólo el piscívoro fue registrado de forma exclusiva en los sitios con caminos de 9 m de anchura. Este gremio lo conformó la especie *Ceryle alcyon* con capturas que se realizaron luego de encharcamientos cerca del sitio de muestreo. Los demás gremios se encuentran representados en todos los sitios.

Tabla 4. Número de capturas de cada especie en sitios con diferente anchura de caminos. Se indica la pertenencia a los diferentes gremios donde: frugívoros (F), insectívoros (I), nectarívoros (N), granívoros (G), piscívoros (P). Se indica además los taxa endémicos (E) y las especies registradas en una sola categoría de sitio (*).

Especie	Gremio	Clave	3 m	9 m	19 m	Total
<i>Attila spadiceus cozumelae</i> (e)	I	ATSP	6	4	3	13
<i>Caprimulgus badius</i>	I	CABA	0	2 *	0	2
<i>Cardinalis cardinalis saturata</i> (e)	F	CACA	0	0	1 *	1
<i>Camptostoma imberbe</i>	I	CAIM	6	2	2	10
<i>Ceryle alcyon</i>	P	CEAL	0	5 *	0	5
<i>Centurus pygmaeus pygmaeus</i> (e)	I	CEPY	0	2 *	0	2
<i>Coereba flaveola</i> (e)	N	COFL	30	35	44	109
<i>Cyclarhis gujanensis insularis</i> (e)	F	CYGU	2	4	2	8
<i>Dendroica caerulescens</i>	I	DECA	2 *	0	0	2
<i>Dendroica magnolia</i>	I	DEMA	5	5	3	13
<i>Dendroica petechia rufivertex</i> (e)	I	DEPE	1	3	3	7
<i>Dendroica pensylvanica</i>	I	DEPEN	0	10 *	0	10
<i>Dendroica striata</i>	I	DEST	0	1 *	0	1
<i>Dumetella carolinensis</i>	F	DUCA	11	4	0	15
<i>Elaenia flavogaster</i>	I	ELFL	5	1	9	15
<i>Elaenia martinica remota</i> (e)	I	ELMA	3	4	5	12
<i>Geothlypis trichas</i>	I	GETR	1	6	0	7
<i>Helmitheros vermivorous</i>	I	HEVE	6	4	4	14
<i>Hylocichla mustelina</i>	I	HYMU	1 *	0	0	1
<i>Piranga roseogularis</i>	F	PIRO	2	1	1	4
<i>Leptotila jamaicensis</i>	F	LEJA	5	3	9	17
<i>Melanerpes aurifrons leei</i> (e)	I	MEAU	6	11	8	25
<i>Melanoptila glabirostris cozumelae</i> (e)	F	MEGL	184	207	247	638

<i>Mimus gilvus</i>	F	MIGI	0	0	2 *	2
<i>Mniotilta varia</i>	I	MNVA	3	6	5	14
<i>Myarchus tuberculifer</i>	I	MYTU	1	3	2	6
<i>Myarchus tyrannulus</i>	I	MYTY	6	2	1	9
<i>Myopagis viridicata</i>	I	MYVI	4	2	0	6
<i>Oporornis formosus</i>	I	OPFO	1	5	3	9
<i>Passerina cyanea</i>	G	PACY	1	2	0	3
<i>Piranga rubra</i>	F	PIRU	0	2 *	0	2
<i>Polioptila caerulea cozumelae</i> (e)	I	POCA	0	1 *	2	3
<i>Seiurus aurocapillus</i>	I	SEAU	8	18	3	29
<i>Seiurus noveboracensis</i>	I	SENO	1	4	0	5
<i>Setophaga rutinilla</i>	I	SERU	9	21	9	39
<i>Spindalis zena benedicto</i> (e)	F	SPZE	2	6	4	12
<i>Tiaris olivacea intermedia</i> (e)	G	TIOL	3	6	8	17
<i>Troglodytes aedon beani</i> (e)	I	TRAE	12	24	8	44
<i>Vermivora pinus</i>	I	VEPI	0	2 *	0	2
<i>Vireo bairdi</i> (e)	I	VIBA	27	25	38	90
<i>Vireo flavifrons</i>	I	VIFL	1 *	0	0	1
<i>Vireo magister</i>	I	VIMA	51	49	45	145
<i>Wilsonia citrina</i>	I	WICI	12	22	7	41
Total de capturas			418	514	478	1410
Total de especies capturadas			33	38	27	43



A

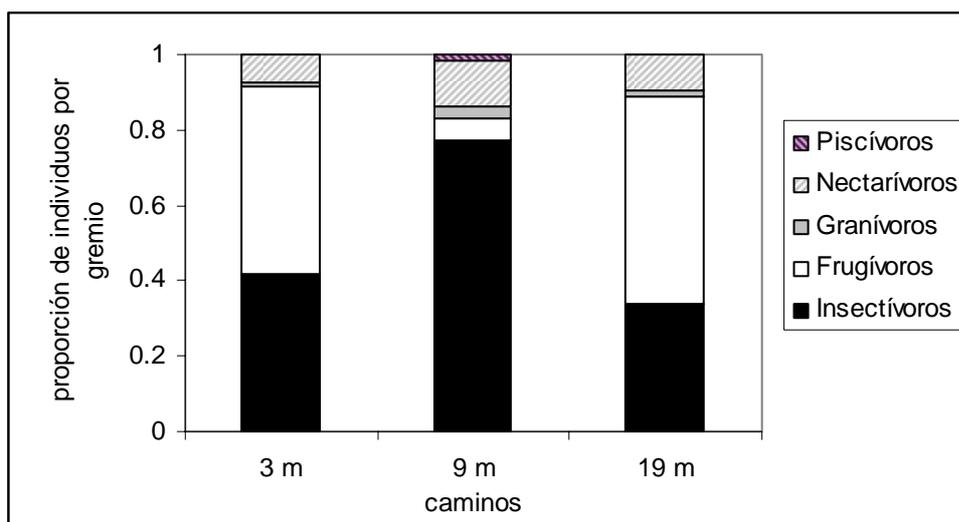


Figura 5. Número de aves capturadas por gremio alimenticio para cada camino. A) Proporción de especies, B) Proporción de individuos.

A pesar de haber diferencia en el número de especies para cada camino, para las tres anchuras hay semejante composición y proporción de especies por gremios alimenticios, siendo como ya se detalló antes, el insectívoro y el frugívoro los más importantes, seguido del granívoro (Fig.5 A).

En cuanto a número de individuos de cada gremio por camino, los caminos de 3 y 9 m resultan similares siendo los gremios insectívoro y frugívoro los más abundantes, seguidos del nectarívoro. Las diferencias significativas ocurren en el camino de 9 m donde el número de individuos por gremio más importante es el insectívoro (mayor que lo esperado) y en el camino de 19 m, donde el gremio de los insectívoros resulta en con menor proporción de lo esperado en la tabla de contingencia. Es de destacar la escasa proporción de especies frugívoras para el camino de 9 m a comparación de los otros dos caminos (Fig. 5 B).

Movimientos de Aves.- Respecto a la composición se puede destacar que *Melanoptila glabirostris* es la especie que más “cruces al camino” presenta en los 4 muestreos y también en los tres anchos caminos (Tabla 4). La única otra especie que presentó cruces en dos muestreos fue *Troglodytes aedon*, en verano 2004 e invierno 2005. De las 5 especies que cruzaron en el verano 2004, una fue migratoria (*Oporornis formosus*) y las 4 restantes residentes. Para el invierno 2005, de las 7 especies que presentaron cruces, 4 fueron

migratorias invernales y las 3 restantes residentes. Para el muestreo verano pre-Emily 2005, las 3 especies que presentaron cruces fueron residentes. Para el muestreo verano pre-Wilma 2005, de las 6 especies que presentaron cruces al camino, 2 fueron residentes y 4 migratorias.

En el Apéndice 3, se presentan los resultados de composición de especies y número de cruces para cada periodo de muestreo. Se presentan al final de las tablas en color rojo, las especies que presentaron movimientos control perpendiculares y paralelos al camino, pero que no cruzaron cada camino.

En conjunto para los 4 muestreos, 21% de las especies capturadas en caminos de tres metros cruzaron dichos caminos, 21% de las capturadas en caminos de 9 m cruzaron dichos caminos, y 18% de las especies capturadas en el camino de 19 m lo cruzaron.

De un total de 43 especies capturadas, solamente 12 especies presentaron cruces al camino al menos una vez, lo que equivale al 28%. El porcentaje de especies que no cruzaron fue muy similar para los caminos de 3 y 9 m (79%) y ligeramente mayor para el camino de 19 m de ancho con un 81%. De las 18 especies endémicas de Cozumel, se capturaron frecuentemente 11 en la zona de estudio, de las cuales solamente 4 (2 especies y 2 subespecies) presentaron cruces al camino. Del total de especies capturadas (43) cerca de los caminos, 72% (31 especies) no presentaron ningún cruce al camino. Como se observa en los resultados el efecto negativo sobre las diferentes especies es importante, y aumenta al aumentar también el ancho de los caminos. Es importante observar que a pesar de capturarse con relativa frecuencia 11 de las aves endémicas de Cozumel, solamente cuatro especies de éstas cruzaron los caminos y fueron de las que lo hicieron en menor proporción a su número de capturas, es decir de las que se vieron más afectadas por los caminos.

Para los movimientos de verano 2004, hay 3 especies que presentaron movimientos mediante recapturas pero que no cruzaron el camino más ancho (19 m), estas fueron *Leptotila jamaicensis*, *Vireo bairdi* y *Elaenia flavogaster*. Para el muestreo invierno 2005, solamente la especie *Dendroica magnolia* presentó movimientos en los caminos de 3 y 9 m, pero no los

cruzó ninguna vez. Para el muestreo verano pre-Emily 2005, las especies *Caprimulgus badius* y *Troglodytes aedon beani*, no presentaron cruces sobre el camino de 19 m, a pesar de haber realizado movimientos en dicho lugar. Para el último muestreo realizado en el verano 2005 antes del huracán Wilma, casi la mitad de las especies recapturadas en los caminos de 3 y 9 m, presentaron movimientos pero no cruces al camino (Fig. 6).

Para realizar las gráficas de los totales se consideraron los primeros cuatro muestreos, incluso los interrumpidos por los huracanes. La figura 6, representa para ambos paneles las sumatorias de los cuatro muestreos.

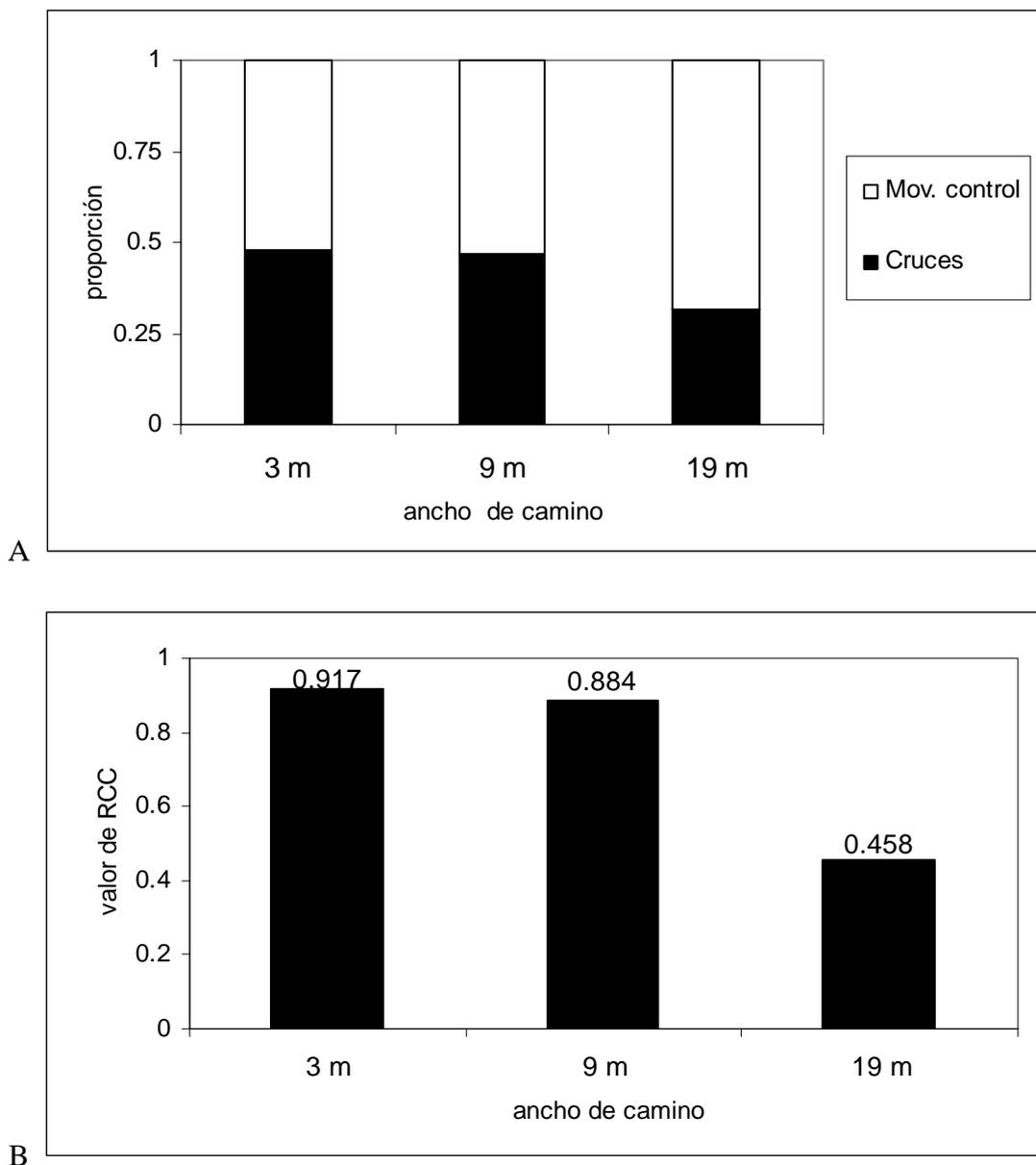


Figura 6. Número de cruces / número de movimientos control para los cuatro muestreos, expresado como: A) proporción, y B) Razón de Cruces al Camino (RCC) = razón de número de cruces / número de movimientos control.

Hubo una tendencia de disminuir los cruces al camino al aumentar el ancho de estos (Fig. 6 A). Para los tres anchos de caminos hay una menor proporción de cruces que movimientos en el control. Las razones calculadas para el camino de 3m y 9m de ancho, nos indican una reducción del 8 y 11% de los movimientos esperados si no existiera el camino. Sin embargo, ambos datos no son estadísticamente significativos según el análisis (Tabla 5). Por otro lado, el camino de 19 m de ancho tiene un efecto significativamente negativo del 54% sobre los movimientos esperados que son entre las redes control sin camino (Tabla 5).

Tabla 5. Valores estadísticos de χ^2 comparando numero de cruces por movimientos control para cada ancho de camino.

Camino	χ^2	g.l.	P
3m	0.333	1	0.564
9m	0.953	1	0.329
19m	6.081	1	0.014 *

Un total de 43 especies fueron capturadas, de las cuales 12 presentaron cruces a los caminos y 7 no cruzaron el camino: *Elaenia flavogaster*, *Melanerpes aurifrons*, *Leptotila jamaicensis*, *Caprimulgus badius*, *Dumetella carolinensis*, *Dendroica pensilvanica* y *Tiaris olivacea*. En la tabla 6, se puede observar en orden ascendente a las especies que presentaron en total un mayor número de cruces en proporción a su abundancia relativa. Es importante recalcar que 7 y 8 especies cruzaron los caminos de 3 y 9 m respectivamente, mientras que sólo 5 cruzan el camino de 19 m.

Las especies que presentaron mayor porcentaje de cruces respecto a su abundancia fueron *Wilsonia citrina* y *Seiurus aurocapillus* (ambas migratorias), con 13.2% y 17.9% de cruces respectivamente.

Tabla 6. Porcentaje de cruces al camino / número de capturas de cada especie (especies migratorias (m))

Especies	3 m	9 m	19 m	Total
<i>Vireo magister</i>	3.92	0.00	4.65	2.80
<i>Vireo bairdi</i>	0.00	12.00	0.00	4.41
<i>Melanoptila glabirostris cozumelae</i>	8.00	8.25	2.52	5.98
<i>Coereba flaveola</i>	0.00	20.00	0.00	6.45
<i>Helmitheros vermivorus</i> (m)	16.67	0.00	0.00	7.14
<i>Mniotilta varia</i> (m)	0.00	16.67	0.00	7.14
<i>Dendroica magnolia</i> (m)	20.00	0.00	0.00	7.69
<i>Troglodytes aedon beani</i>	8.33	12.50	0.00	9.09
<i>Setophaga ruticilla</i> (m)	0.00	15.00	11.11	10.81
<i>Oporornis formosus</i> (m)	0.00	0.00	33.33	11.11
<i>Wilsonia citrina</i> (m)	9.09	14.29	16.67	13.16
<i>Seiurus aurocapillus</i> (m)	25.00	17.65	0.00	17.86

De las 12 especies que cruzan el camino, hay 6 especies que cruzaron solamente en uno de los tres anchos de camino: dos cruzaron el camino de 3m (las migratorias *Helmitheros vermivorus* y *Dendroica magnolia*), tres el camino de 9m (las residentes *Melanoptila glabirostris cozumelae*, *Coereba flaveola* y la migratoria *Mniotilta varia*) y una el camino de 19 m de ancho (la migratoria *Oporornis formosus*).

M. glabirostris cozumelae, *H. vermivorus*, *D. magnolia* y *S. aurocapillus*, como se puede ver en los porcentajes de cruces por anchura, son las cuatro especies que fueron más afectadas por el ancho del camino según lo esperado.

En cuanto a gremios alimenticios, de las 12 especies que cruzaron el camino 10 (83%) son insectívoras, las restantes son: *C. flaveola* que es nectarívora y *M. glabirostris cozumelae* que es frugívora.

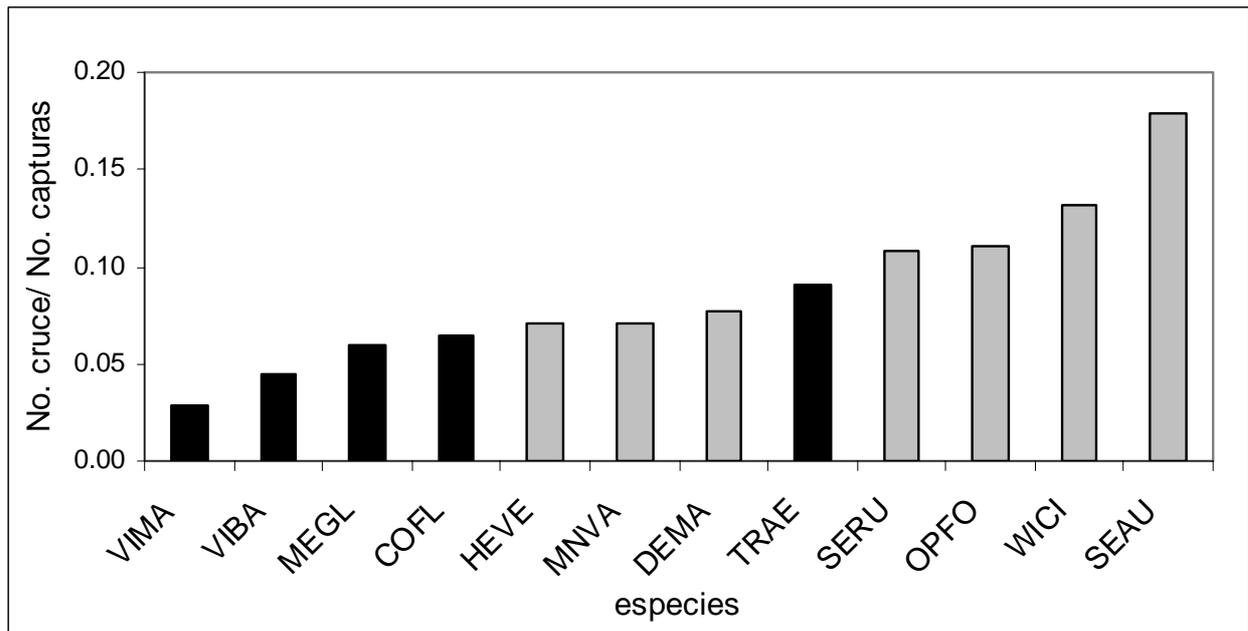


Figura 7. Cruces por especie en proporción al número de capturas. Residentes en negro, y migratorias en gris (ver referencia de código de especies en la Tabla 4)

Como se puede observar con los valores de cruces/capturas ordenadas ascendentemente, las 4 especies que menos cruzaron el camino fueron especies residentes cuyos valores van de 2.8% a 6.5% cruces (Fig. 7). A excepción de *Troglodytes aedon beani*, las 8 especies restantes que más cruzaron el camino fueron especies migratorias, con porcentajes de cruces relativo a capturas que van de 7.1% a 17.9%. Cabe resaltar que la especie que cruzó menos (*Vireo magister*), lo hizo en un factor seis veces menor, que la especie que realizó más cruces al camino (*Seirus aurocapillus*), y dos veces y media menor que el promedio de cruces de todas las aves (6.5%).

A continuación se presenta una figura de los valores de número total de especies residentes y migratorias que cruzaron o no los caminos (Fig. 8).

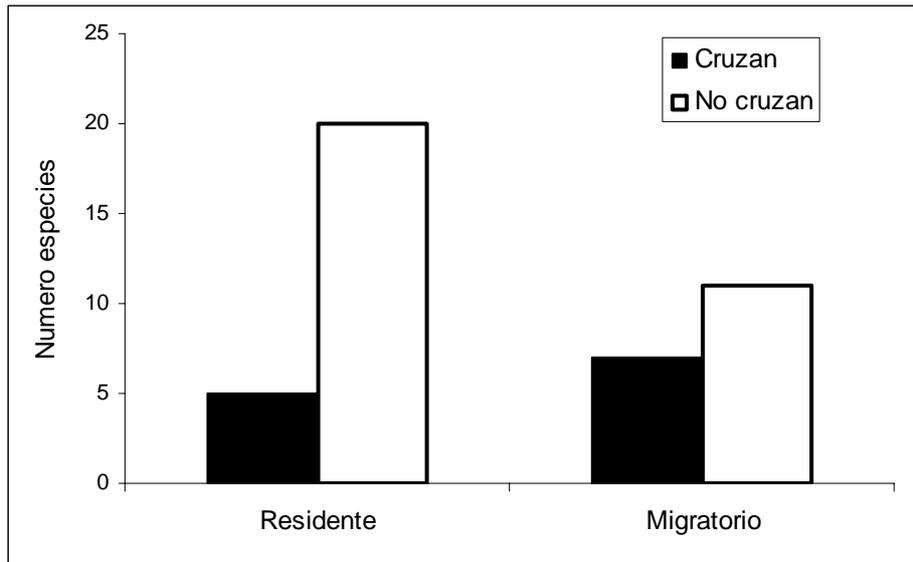


Figura 8. Número de especies residentes y migratorias que cruzan y no cruzan los caminos

En cuanto a número de especies solamente una pequeña proporción del total de las especies que presentaron movimientos realizaron cruces a los caminos (28%). Tanto para las especies residentes y las migratorias es mayor el porcentaje de especies que no cruzaron el camino (80 % y 61 % respectivamente), sin embargo no hubo diferencia significativa para la tabla de contingencia de las especies (Figura 8).

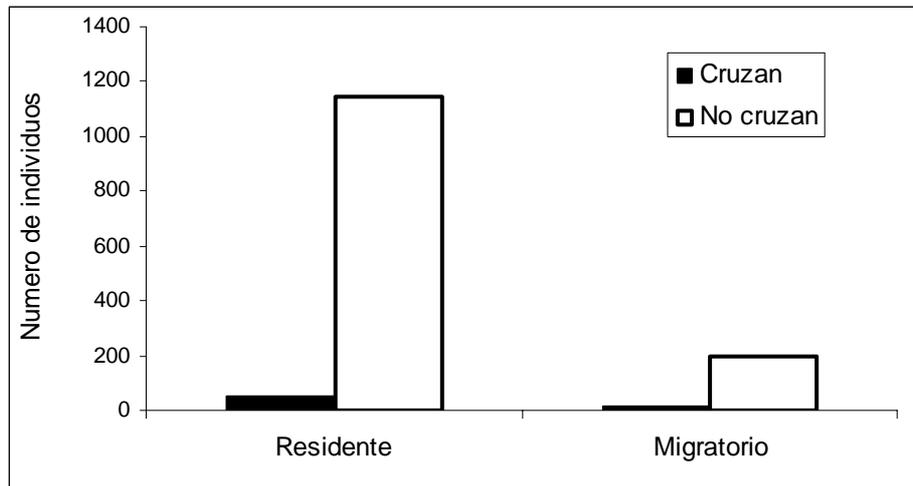


Figura 9. Número de individuos residentes y migratorios que cruzan y no cruzan los caminos.

En cuanto a número de individuos como se puede observar en la figura 9, tanto para aves residentes y migratorias es mayor el porcentaje de individuos que no cruzaron el camino (80 % y 61 % respectivamente). El resultado de la tabla de contingencia es significativa (1 g.

l., $P = 0.005$), además el número de individuos migratorios que cruzan es significativamente mayor a lo esperado.

En ambos casos (especies e individuos) hubo una mayor proporción de aves migratorias que realizaron cruces al camino, que la proporción de aves residentes que realizaron cruce, lo que significa que los caminos tienen un mayor efecto barrera sobre este grupo.

Distancias.- A cada individuo recapturado se le calculó la distancia de cada movimiento realizado, midiendo una línea recta desde el punto medio de la red de captura original, hasta el punto medio de la red donde se recapturó, ya fuera del mismo lado o del otro lado del camino (Apéndice 5). El análisis se realizó para los muestreos verano 2004 e invierno 2005 que tienen el mismo esfuerzo de muestreo y presentan mayor número de movimientos (ver Apéndices 6 A y B). Se muestran resultados por separado, ya que presentan distintas tendencias según el periodo del año. Para los movimientos realizados por las aves durante el verano 2004, se puede destacar una tendencia de éstas a desplazarse una menor distancia al aumentar el ancho del camino, aunque el valor de la correlación de Pearson no fue significativa ($r = -0.179$, $P = 0.081$; Fig. 10).

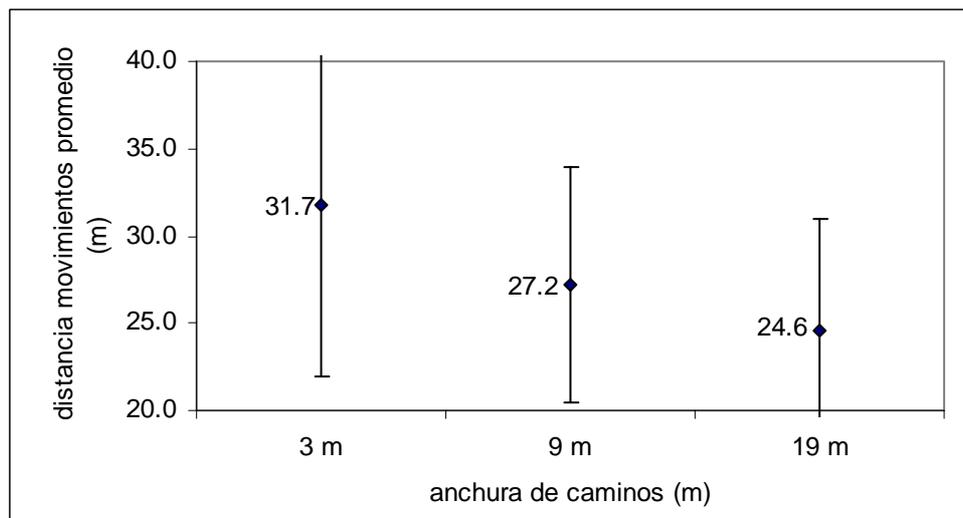


Figura 10. Correlación de anchura de caminos vs. distancia de movimientos de aves capturadas con barras de error indicando la desviación estándar en el verano 2004.

Para los movimientos realizados por las aves durante el invierno 2005 no hubo correlación entre el ancho del camino y la distancia de movimiento para las aves ($r = 0.027$, $P = 0.829$; Fig. 11). Los resultados del verano pertenecen a aves residentes de Cozumel en su gran mayoría, es decir, aves que tienen su hábitat bien establecido en la isla, y a quienes se esperaba que afectaran más los caminos. Para las aves residentes se observó la tendencia de presentar movimientos de menor distancia en sitios atravesados por caminos más anchos. En sitios donde cruza un camino de 19 m se presentó una reducción del 23% en la distancia promedio que vuelan las aves, con respecto a sitios donde cruza un camino de 3 m de ancho.

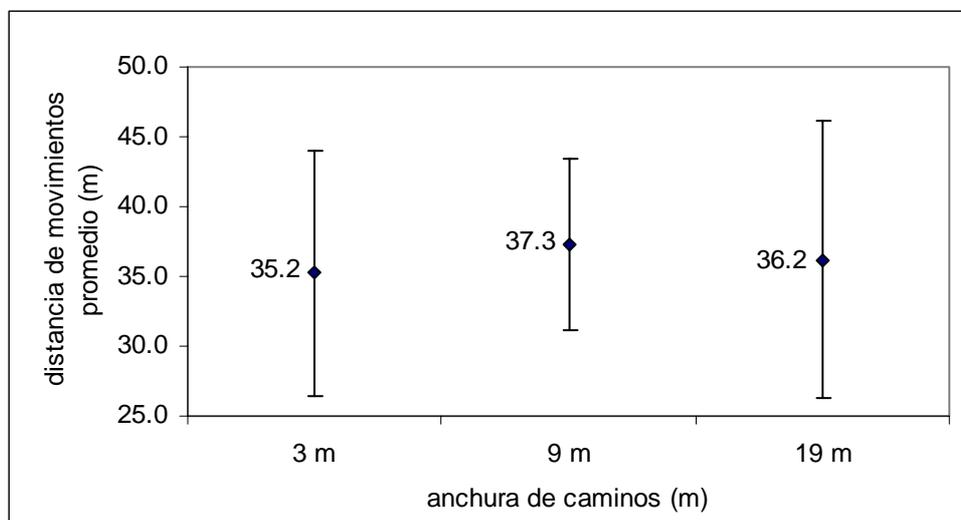


Figura 11. Correlación de anchura de caminos vs. distancia de movimientos de aves capturada con barras de error indicando la desviación estándar en el invierno 2005

3.4. Discusión

La apertura de caminos en la selva mediana de la Isla Cozumel afectó varios aspectos de la comunidad de aves del sotobosque como diversidad, número de movimientos de las aves y distancia de los movimientos. Estos cambios dependieron de la especie de ave, y del ancho del camino principalmente.

Diversidad.- Los resultados fueron evidencia de un efecto negativo de los caminos para las aves ya que tan sólo el 5% de las aves capturadas y el 32% de las recapturadas presentaron cruces al camino. De las 12 especies que cruzaron el camino, las que menos lo hicieron fueron aves residentes, mientras que las aves migratorias fueron las menos afectadas. Lo anterior

parece razonable si se piensa en la distancia que atraviesan las aves migratorias neotropicales cada invierno desde Canadá y Estados Unidos hasta las islas del Caribe, cruzando el continente sobre cuerpos de agua, carreteras y un paisaje heterogéneo. Sin embargo como lo indican Bélisle & St. Clair (2001), al establecerse las aves migratorias en un hábitat durante el invierno también son susceptibles de ser afectadas negativamente en sus movimientos de dispersión por la pérdida y fragmentación del hábitat que implica un camino en medio de la selva. Se podría decir que este fue el caso de las especies migratorias que presentaron menos cruces como *Helmitheros vermivorous*.

Riqueza de gremios alimenticios.- En cuanto a gremios alimenticios, de las 43 especies capturadas el 70% fueron insectívoras, y el resto fueron especies frugívoras, granívoras, piscívoras y nectarívoras. De forma similar la gran mayoría de las especies que cruzaron el camino fueron insectívoras (83%), sólo una fue nectarívora y otra más frugívora. Estos resultados son muy similares a los encontrados por otros estudios (Levey 1988, Johns 1991, Restrepo & Gómez 1998, Dale *et al.* 2000), quienes encontraron que los bordes atraen precisamente a los gremios insectívoros, nectarívoros y frugívoros en mayor abundancia. Burnett (1992) explica que en pequeños mamíferos el efecto barrera puede deberse a especies que se ven beneficiadas con la vegetación del borde del camino, donde establecen sus territorios y rangos hogareños, y la presencia de estas especies territoriales puede inhibir los movimientos de otras especies en el área. Como lo explican Bélisle & St. Clair (2001), sería erróneo generalizar los resultados para todas las especies, incluso si se agrupan por gremio, por lo que se requiere de un análisis más detallado de los resultados considerando la biología de cada especie.

Movimientos de Aves.- La principal evidencia de dicho efecto en el presente trabajo se obtuvo comparando los cruces de las aves sobre los caminos contra los movimientos control que realizaron las aves cerca de éstos. En los tres anchos de camino hubo una menor proporción de cruces sobre el camino respecto a movimientos similares sobre la vegetación adyacente

aunque sólo hubo diferencia significativa en el camino de 19 m, lo que nos indica que los claros que forman los caminos provocan un efecto de barrera para las aves. Los resultados apoyan la hipótesis de Burnet (1992), quien dice que algunos animales evitan espacios abiertos, y prefieren selva con vegetación densa y compleja. El efecto negativo fue mayor para el camino de 19 m de ancho el cual presentó 54% menos movimientos sobre el camino, que los observados en la vegetación control. Un camino tan pequeño como lo es el de 3 m de ancho y en el que apenas puede transitar un auto, representó para las aves de este estudio, una barrera que impidió el paso de 8% de las aves que sí se movían en el interior de la selva. Por otro lado, la disminución fue del 12% en los caminos de 9 m de ancho, aunque estadísticamente este efecto fue igual al del camino de 3 m y ninguno fue significativo. Estos resultados son similares a los resultados de efecto barrera por caminos, con escarabajos carábidos, arañas lobo y pequeños mamíferos en caminos de entre 2 y 6 m de ancho (Forman & Alexander 1998). El presente estudio coincide con otros en que el ancho del claro que forma el camino es un factor importante en la inhibición de movimientos de animales, lo que puede llevar a subdividir las poblaciones e incrementar el riesgo de extinciones locales y pérdida de variabilidad genética (Goosem 1997).

El que haya significativamente menos cruces que lo esperado en el sitio con un camino de 19 m, así como que las aves residentes presenten una menor proporción de cruces al camino que las aves migratorias son evidencias de los efectos negativos de los caminos sobre muchas de las aves de sotobosque de la selva mediana de la Isla Cozumel. Los resultados son similares a los encontrados por Laurance (2004) y por Develey & Stouffer (2000) en estudios sobre el efecto negativo de caminos angostos en aves de sotobosque del Amazonas, donde encuentran que la anchura del camino afecta negativamente a los movimientos de las aves.

Distancia de Movimientos.- Otra evidencia del efecto negativo de los caminos fue la tendencia para las aves residentes de presentar movimientos de menor distancia con el incremento de la anchura del camino, aunque esto no fue estadísticamente significativo. No

existió un control estricto de selva donde no hubiera ningún camino cruzando, debido a que no era objetivo principal del presente estudio. Para los resultados totales, el efecto es similar aunque no tan significativo como para las aves residentes. El efecto negativo puede explicarse porque al ocupar el ancho del camino es una mayor área de la selva la que esta perturbada con un claro respecto al área que se esta muestreando y es una mayor distancia la que tendrían que volar las aves para cruzar. Los resultados coinciden con los de Béliste *et al.* (2001), quienes sugieren que las aves deben de estar restringiendo sus movimientos a través del paisaje al encontrarse con claros que deben cruzar, incluso menores de 30 m de ancho. Las aves de sotobosque se desplazan en vuelos de menor distancia, posiblemente tomando precaución de los peligros que les significa el claro del camino, como es la presencia de aves rapaces depredadoras o de especies territoriales (Lima & Dill 1990, Todd & Cowie 1990, Desrochers & Hannon 1997, Laurance 2004). Los mecanismos específicos responsables de que las aves de sotobosque eviten los caminos, no se saben con certeza y se necesitan más estudios al respecto.

Implicaciones para la conservación

Los resultados de este estudio presentan evidencia de efectos negativos de caminos sobre los movimientos de aves en un área relativamente bien conservada y poco transitada. Por lo tanto, se puede suponer que serán mayores los efectos donde cruzan dos o más caminos, o en caminos transitados donde hay perturbación por movimiento, ruido, contaminación química, aumento de temperatura, entre otros efectos negativos (Trombulak & Frissell 2000). Cabe resaltar que los resultados de los efectos negativos provocados por los caminos en el presente trabajo, se restringen, a las condiciones y características específicas del tipo de vegetación, del sitio, de los caminos, así como a la comunidad de aves de sotobosque en cuestión.

El potencial efecto negativo que tienen los caminos sobre los movimientos de la comunidad de las aves de sotobosque debe tomarse en cuenta para el diseño, construcción y modificación de caminos y carreteras en la Isla Cozumel. Es importante recalcar que aunque

los caminos de 3 y 9 m mostraron disminución en el movimiento de aves, esta no fue muy pronunciada ni estadísticamente significativa, por lo que se puede sugerir para los caminos de Cozumel la construcción de caminos con una anchura máxima de 10 m entre bordes opuestos.

Existen formas de evitar el efecto negativo de los caminos, como por ejemplo reduciendo su construcción desmedida, haciendo caminos lo más angostos posibles, manteniendo conexión del dosel arbóreo de un lado al otro del camino. Respecto a esto último, en un estudio con anchuras de caminos iguales, la diferencia en la frecuencia de cruces al camino dependió de qué tan cerrado estaba el dosel arbóreo (Laurance *et al.* 2004), de ahí que se propone conservar este tipo de características para los caminos en Cozumel. Por ejemplo, la carretera transversal es un camino que bisecta la Isla Cozumel por la mitad al mismo tiempo bisectando la selva mediana subcaducifolia. En el caso de este camino, si se pudieran realizar obras de cableado eléctrico en tuberías a nivel del suelo, se evitaría tener que podar los árboles y el dosel de los árboles se cerraría paulatinamente, ayudando al movimiento de algunas especies de fauna.

Como prioridad se deben clasificar los hábitat de acuerdo a su composición potencial de especies, vulnerabilidad del hábitat y área total (Kuitunen *et al.* 1998). También es necesario un monitoreo permanente para asegurarse que las medidas preventivas efectuadas tengan efectos ecológicos positivos y minimicen los efectos adversos a un bajo costo. Es crítico conservar la mayor área posible de la selva sin caminos que provoquen más pérdida y fragmentación respecto a su estado natural actual. No existen hasta el momento resultados disponibles del efecto de caminos para ningún otro grupo taxonómico o especie animal en México, ni en la Isla Cozumel, de ahí la importancia de este trabajo como un primer antecedente.

3.5. Conclusiones

- Con este trabajo se encontró que hay una tendencia clara a que los caminos obstaculicen el movimiento de las aves de sotobosque en general de la Isla Cozumel. Aunque el efecto fue sólo en los caminos de mayor anchura (19 m).
- La magnitud del efecto barrera es diferente en caminos de distintas anchuras. El efecto barrera aumenta al aumentar la anchura del camino.
- Al aumentar la anchura del camino las aves presentan menor número de cruces respecto al número de movimientos control (RCC) (0.917 vs. 0.458) y también presentan vuelos de menor distancia al realizarlos cerca y sobre el camino (31.7 m vs. 24.6 m).
- El 72% de las especies capturadas no cruzo el camino ninguna vez.
- Las especies residentes son más afectadas que las migratorias por el efecto barrera en los tres caminos.
- El efecto barrera no fue diferente para algún gremio en particular.

4. CAPITULO II

“Efectos de Huracanes Sobre la Comunidad de Aves del Sotobosque de la Isla Cozumel”

4.1. Introducción

La estructura y composición de comunidades de especies de animales marinos y terrestres en el Caribe están fuertemente influidas por los huracanes (Askins & Ewert 1991). El efecto debe ser particularmente notorio en lugares como la Isla Cozumel, donde los huracanes tienen una frecuencia relativa de uno cada diez años y el territorio es pequeño (480 km²) y llano, sin mucha posibilidad de reducir la fuerza de las tormentas. Entender el impacto ecológico de los huracanes en las islas del Caribe es importante para mantener y preservar poblaciones viables de las especies nativas y migratorias. Esto debido a que perturbaciones naturales de este tipo pueden causar disminuciones repentinas y pronunciadas en las poblaciones de plantas y animales lo que al sumarse a los efectos negativos de las actividades humanas puede elevar las probabilidades de extinciones locales (Askins & Ewert 1991). Los registros históricos de huracanes para el periodo 1871-1999 muestran que casi la mitad de los huracanes del Caribe que entran a tierra, golpean la Península de Yucatán, y en particular al estado de Quintana Roo. Además, estas costas han sido blanco de la trayectoria de los huracanes más intensos registrados (Askins & Ewert 1991), como en el caso reciente de los fenómenos Emily y Wilma durante el año 2005.

Entre los numerosos estudios ecológicos de la avifauna de bosques y selvas en el Caribe y Centro América hay relativamente pocos acerca del impacto de los huracanes sobre estas comunidades. Hasta antes del huracán Gilberto en 1991, solamente existían publicaciones de datos anecdóticos acerca del impacto de huracanes sobre especies de aves en general (*e.g.* Huntington & Barbour 1936, Sutton 1945, Robertson & Kushlan 1974). Es con el huracán Gilberto, que surgen las primeras publicaciones más completas como son las de Askins & Ewert (1991), Lynch (1991), y Wunderle, Lodge & Waide (1992) que registran

variaciones en el número de individuos de diferentes poblaciones de aves según los daños y el tipo de hábitat afectado por el huracán. En el presente capítulo reporto el trabajo que lleve a cabo para determinar los efectos que los huracanes Emily y Wilma en su conjunto (de aquí en adelante referidos como “los huracanes”) tuvieron sobre la avifauna del sotobosque en la Isla Cozumel. Las preguntas específicas que busqué responder fueron: (1) ¿Cuál es la magnitud del efecto que los huracanes tuvieron sobre la diversidad y abundancia relativa de la comunidad de aves del sotobosque de la Isla Cozumel?, (2) ¿Difieren dichos efectos entre diferentes especies? Esperaba que con relación a datos tomados antes de los huracanes la composición de especies total y relativa fuera diferente, debido al daño de la cobertura vegetal. Esperaba también una reducción general en la abundancia de la avifauna y particularmente pronunciada en aquellas especies que previamente eran menos abundantes o raras.

4.2. Métodos

4.2.1. Sitio de Estudio

El estudio se llevó a cabo en la isla Cozumel, localizada 17.5 km frente a la costa Noreste del estado de Quintana Roo, en el Mar Caribe ($20^{\circ} 16'$ a $20^{\circ} 36'$ N y $86^{\circ} 44'$ a $87^{\circ} 02'$ O; Fig. 1). Cozumel tiene un área de aproximadamente 480 km^2 , cubierta por cinco tipos de vegetación de los cuales sobresale por su superficie la selva mediana subcaducifolia, con una altura de dosel que varía entre 8 y 20 m. Fue en este tipo de vegetación que se llevó a cabo el estudio. La isla tiene un moderado clima cálido y húmedo, caracterizado por un pequeño rango anual de temperaturas mensuales relativamente altas cuya media es de 25.5° C . La estación de lluvias ocurre desde finales de mayo hasta octubre, con un periodo intermedio relativamente seco durante julio y agosto. La precipitación mensual, presenta sus valores máximos en los meses de junio y septiembre-octubre, siendo de 190 y 220 mm al mes. La precipitación mensual mínima ocurre en marzo-abril con un promedio de 45 mm al mes. La temporada de huracanes ocurre de junio a octubre (INEGI 1994).

En el año 2005, la Isla Cozumel fue golpeada el 17 y 18 de julio por el huracán Emily de categoría cuatro, con vientos máximos de 215 km/h, cuyos daños causaron la defoliación de la vegetación. Tres meses más tarde, antes de que la vegetación se recuperase del efecto de Emily, la isla fue golpeada de nuevo por otro huracán, el huracán Wilma de categoría cinco, con vientos máximos de 240 km/h. El huracán Wilma es hasta ahora el más intenso, en cuanto a baja presión, registrado en el Atlántico, con 882 mb y rachas de vientos de hasta 295 km/h, y quedó estacionado sobre la isla durante aproximadamente 36 horas entre el 18 y el 22 de octubre (SMN 2005). El huracán Wilma, causó que muchos árboles de la selva se partiesen o cayeran por completo. Grandes áreas de la selva permanecieron inundadas por varios días luego del paso de Wilma. Así, el efecto combinado de ambos huracanes ocasiono un daño particularmente intenso sobre la vegetación de la isla (Figura 12) lo que seguramente significó una gran reducción en la disponibilidad de recursos alimenticios y en la cobertura del dosel.



A



B



Figura 12. Sitio de estudio en la selva mediana subcaducifolia de la Isla Cozumel, A) antes de los huracanes (2004), B) luego del huracán Emily, y C) luego del huracán Wilma.

4.2.2 Captura de Aves

Para el presente trabajo se realizaron muestreos en 6 sitios de la selva mediana subcaducifolia del centro de la Isla Cozumel. En cada sitio se capturaron aves usando nueve redes de niebla de 12 m de largo x 2 m de alto, y apertura de 32 mm para atrapar aves de sotobosque. Las redes se colocaron de manera contigua en hileras a lo largo de tres transectos paralelos de 72 m a caminos en la selva. Cada uno de los tres transectos paralelos se dividió en dos secciones de 36 m que se muestrearon por dos días, completando así 72 m el tercer y cuarto día. Las 9 redes se abrieron al amanecer y permanecieron abiertas por 6 horas (6 AM a 12 PM) durante cuatro días en cada uno de los seis sitios. Las redes se revisaron cada media hora para remover las aves atrapadas. Cada ave capturada se identificó a nivel de especie y se marcó con anillas numeradas de aluminio. Además se registraron datos para determinar sexo y edad cada vez que fue posible. También de cada ave se tomaron medidas morfométricas de su peso con una balanza electrónica de precisión de 0.1 g, así como su longitud total y la longitud del ala, medidas con una regla metálica de precisión de 1 mm, las cuales se relacionan con el

tamaño y condición física del individuo. Después de procesar el ave, ésta se regresó y liberó en el transecto donde fue capturada originalmente.

El trabajo de campo se llevó a cabo en dos periodos de muestreo: invierno 2005 realizado del 17 de enero al 20 de febrero del 2005 (7 meses antes del primer huracán), e invierno 2006 realizado del 6 de enero al 10 de febrero del 2006 (3 meses después del segundo huracán). Ambos periodos tuvieron un esfuerzo de muestreo de 1296 horas red.

4.2.3. Análisis de Datos

Tasa de captura, recaptura y riqueza.- Para obtener las tasas de captura para cada periodo de muestreo se sumaron el número de individuos capturados por primera vez y se dividieron entre el esfuerzo de muestreo de cada periodo ((horas x red) x 100). De igual manera las tasas de recaptura se obtuvieron utilizando la sumatoria de los individuos anillados previamente. La riqueza de especies se obtuvo de la misma manera, determinando el número de especies capturadas para cada periodo de muestreo, dividido entre el esfuerzo de muestreo.

Para medir de manera estricta el efecto directo de los huracanes se comparó el muestreo del invierno 2005 previo a los huracanes con el muestreo del invierno 2006 posterior a éstos para cada variable de respuesta. La variación presentada luego del paso de los huracanes fue comprobada con el análisis estadístico de χ^2 , donde los valores antes del huracán (invierno 2005) se utilizaron como valores esperados, y los valores después del huracán (invierno 2006) se utilizaron como valores observados.

Para la variable riqueza de especies se realizó una análisis de χ^2 , donde los valores antes del huracán (invierno 2005) se utilizaron como valores esperados, y los valores después del huracán (invierno 2006) se utilizaron como valores observados, además se realizó un análisis a detalle comparando como muestras pareadas independientes, el número de especies capturadas antes y después de los huracanes en cada uno de los seis sitios de muestreo con una prueba de t pareada. Además de lo anterior, se separaron las especies por distribución en: migratorias y residentes antes y después de los huracanes, para las cuales se presentan

también valores de χ^2 para cada grupo además de el valor de χ^2 de independencia para los factores periodo de muestreo y estatus migratorio.

Variables morfométricas.- Se utilizaron las variables morfométricas: peso, con una precisión de 0.1 g, longitud total, longitud del ala, medidas con precisión de 1 mm, las cuales se relacionan con el tamaño y condición física del individuo. Para ambas variables (peso y longitud alar) se determinó la variación entre los dos periodos de muestreo (invierno 2005 y 2006) con un ANOVA utilizando los datos de todas las aves capturadas. Para determinar la normalidad de los datos se utilizó el estadístico Shaphiro-Wilk. Los análisis estadísticos anteriormente mencionados se realizaron con el programa SYSTAT 11 (2004). Debido a que la variación del peso y el tamaño del ala se relacionan con las características de las especies capturadas en cada periodo de muestreo en particular, dichas variables analizadas de esta manera sólo nos indican la variación general de la comunidad.

Para cada variable morfométrica (peso y longitud alar) se determinaron 5 categorías para las cuales se realizó un análisis con el número de especies por categoría, y otro con el número de individuos capturados por categoría. Se realizó un análisis de Kolmogorov Smirnov para encontrar si hubo diferencia entre los pares de categorías antes y después de los huracanes.

Para determinar la variación de la condición física que provocaron los huracanes a través de las variables morfológicas sobre cada una de las especies, se realizó un análisis donde se dividieron los datos de peso promedio entre los de la longitud alar promedio para cada especie. Para encontrar un posible efecto de los huracanes, se utilizaron las especies que presentaron al menos cinco capturas por muestreo para poder comparar el muestreo de invierno 2005 con el de invierno 2006. Para comprobar si existió diferencia significativa por el efecto de los huracanes se realizó una prueba *t* de Student pareada por especie, para comparar el valor de condición física antes y después de los huracanes.

4.3 Resultados

Tasas de captura y recaptura.- En el invierno 2005 antes de los huracanes se capturaron un total de 268 aves, mientras que en el invierno 2006 después de los huracanes, se capturaron un total de 111 (Tabla 7). Dichos datos resultan en la reducción del 60% en la tasa de captura de aves de un periodo de invierno a otro (Fig. 13). El resultado del análisis de los valores fue significativo ($\chi^2 = 65.037$, g.l. =1, $P < 0.001$), por lo que si hubo un efecto de los huracanes en cuanto al número de aves capturadas.

Tabla 7. Número de capturas para cada especie capturada en invierno 2005 e invierno 2006 con número de capturas, categoría de distribución (M = migratorias y R = residentes), y gremio alimenticio (F = frugívoros, I = Insectívoros, N = Nectarívoros y G = granívoros)

Especie	Distribución	Gremio	Invierno 2005	Invierno 2006	Total
<i>Melanoptila glabirostris cozumelae</i>	R	F e I	90	18	108
<i>Coereba flaveola</i>	R	N	5	47	52
<i>Vireo bairdi</i>	R	I	28	22	50
<i>Setophaga ruticilla</i>	M	I	28	2	30
<i>Wilsonia citrina</i>	M	I	21	3	24
<i>Seiurus aurocapillus</i>	M	I	18	1	19
<i>Vireo magister</i>	R	I	11	2	13
<i>Helmitheros vermivorous</i>	M	I	12	0	12
<i>Mniotilta varia</i>	M	I	9	0	9
<i>Dendroica magnolia</i>	M	I	9	0	9
<i>Troglodytes aedon beani</i>	R	I	8	0	8
<i>Tiaris olivacea intermedia</i>	R	G e I	1	5	6
<i>Elaenia martinica remota</i>	R	I y F	3	2	5
<i>Melanerpes aurifrons leei</i>	R	I	4	0	4
<i>Attila spadiceus cozumelae</i>	R	I	3	1	4
<i>Dendroica petechia rufivertex</i>	R	I	0	4	4
<i>Spindalis zena benedicti</i>	R	F	2	1	3
<i>Myiopagis viridicata</i>	R	I y F	2	0	2
<i>Mimus gilvus</i>	R	F e I	2	0	2
<i>Geothlypis trichas</i>	M	I y F	2	0	2
<i>Dumetella carolinensis</i>	M	F e I	2	0	2
<i>Camptostoma imberbe</i>	R	I	1	1	2
<i>Cyclarhis gujanensis</i>	R	F e I	1	1	2
<i>Myarchus tyrannulus</i>	R	I	1	0	1
<i>Oporornis formosus</i>	M	I y F	1	0	1

<i>Passerina cyanea</i>	M	G y F	1	0	1
<i>Dendroica caerulescens</i>	M	I	1	0	1
<i>Cardinalis cardinales saturata</i>	R	FeI	1	0	1
<i>Piranga roseogularis</i>	R	FeI	1	0	1
<i>Polioptila caerulea cozumelae</i>	R	I	0	1	1
31 especies	12 M y 19 R		268	111	379

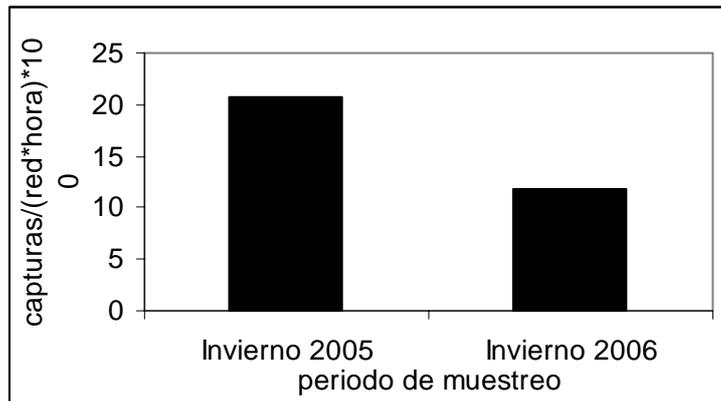


Figura 13. Tasa de capturas totales para el invierno 2005 previo a los huracanes, y el invierno 2006 posterior a los huracanes

Por medio de un análisis de χ^2 se pudo comprobar que hubo una reducción significativa del 55% de recapturas totales entre el invierno 2005 (62 recapturas), y el invierno 2006 (28 recapturas), debido al bajo número de capturas que se tuvo en el último periodo de invierno luego de los huracanes (Fig. 14). Los valores del análisis fueron $\chi^2 = 12.844$, g.l. = 1, $P = 0.001$.

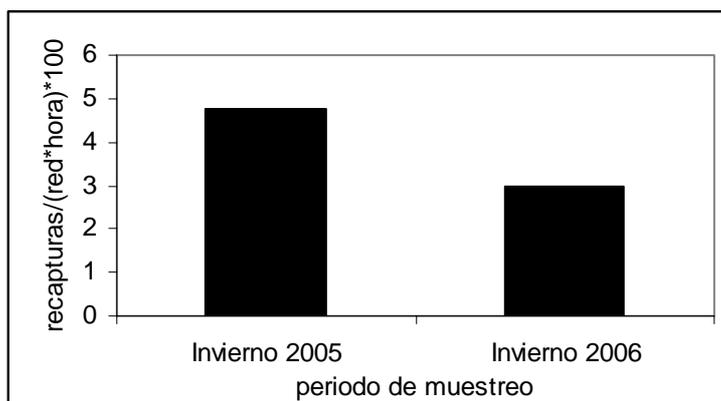


Figura 14. Tasa de recapturas por días red para el invierno 2005 e invierno 2006 posterior a los huracanes

Cabe destacar que el porcentaje de recapturas del invierno antes del huracán fue del 23% de las capturas totales de ese periodo, similar al porcentaje de recapturas del invierno

posterior al huracán el cual fue del 25% de las capturas de ese periodo (Fig. 15). Por medio de un análisis de χ^2 de independencia, se pudo comprobar que la reducción de la tasa promedio de recaptura se debió a la reducción del número de capturas totales después del huracán en el invierno 2006. Los valores del análisis fueron $\chi^2 = 0.045$, g.l. = 1, $P = 0.832$.

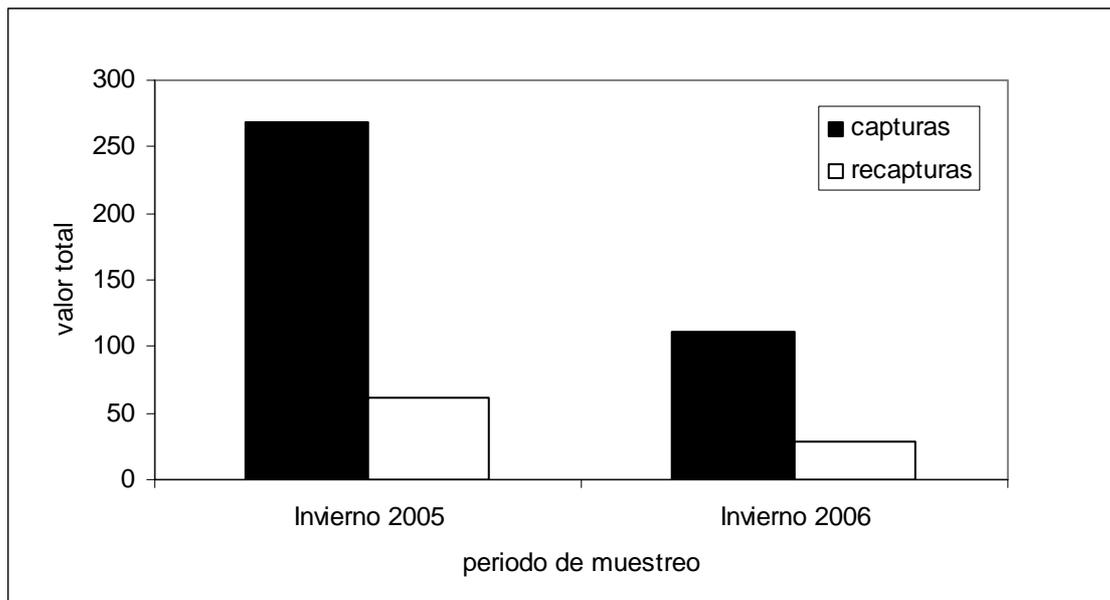


Figura 15. Número de capturas y recapturas totales para el invierno 2005 e invierno 2006 posterior a los huracanes.

Las recapturas de aves anilladas en periodos anteriores (color negro en Fig. 16), nos dan una idea de la mortalidad de las aves provocada por los huracanes, ya que este valor debería haber aumentado o al menos ser igual al acumularse el número de aves anilladas en los sitios de muestreo. Sin embargo este valor disminuye del 53% en el invierno 2005, a 22% en el invierno 2006. Por medio de un análisis de χ^2 , se pudo comprobar que la reducción de las recapturas en el invierno 2006, no se debió al efecto de los huracanes, si no a la reducción del número de aves anilladas en el mismo periodo. Los valores del análisis fueron $\chi^2 = 1.81$, gl = 1, $P = 0.178$.

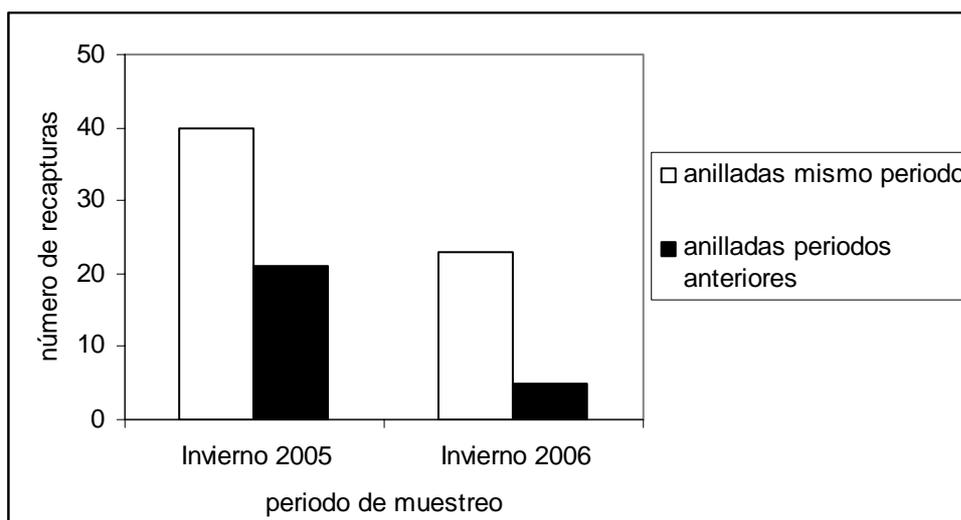


Figura 16. Número de recapturas de invierno 2005 e invierno 2006 en dos categorías según el periodo de muestreo de anillado del ave

Riqueza.- Hubo una reducción del 44.5% de la riqueza de especies totales entre el invierno 2005 (27 especies), y el invierno 2006 (15 especies). Los valores del análisis no fueron significativos, pero sin embargo si sugieren una tendencia importante de considerarse ($\chi^2 = 3.429$, g.l. = 1, $P = 0.064$). Al realizarse una prueba de t pareada comparando como muestras pareadas independientes, el número de especies capturadas antes y después de los huracanes en cada uno de los seis sitios de muestreo la diferencia fue significativa, $t = 9.032$, $P = 0.001$.

Analizando detalladamente por estatus migratorio, se presentó una reducción del 36% de especies residentes del invierno 2005 al invierno 2006 y una mayor de 54% para especies migratorias, sin embargo el análisis de χ^2 de independencia resultó no significativo para la comparación del factor tiempo y el factor estatus migratorio para ambos tratamientos (Fig. 17).

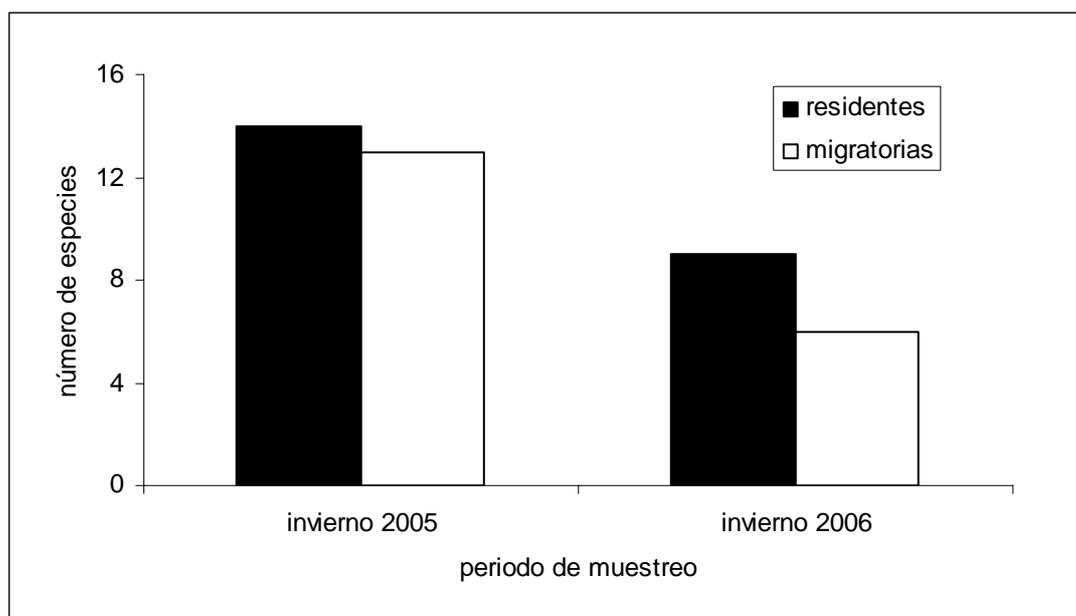


Figura 17. Número de especies de aves residentes y migratorias para el invierno 2005 e invierno 2006 posterior a los huracanes.

Variaciones de peso y longitud.- Hubo diferencia en cuanto al peso promedio de las aves capturadas para los muestreos invierno 2005 e invierno 2006 (Fig. 18). Los valores del peso de las aves utilizados para los análisis resultaron significativos para la normalidad (Shapiro-Wilk = 0.6524, $P = 0.001$). Existió una reducción significativa ($F = 2.408$, g.l. = 1, $P < 0.001$) de 28% del peso promedio del invierno 2006 (20.38 g) respecto al invierno 2005 (14.77 g).

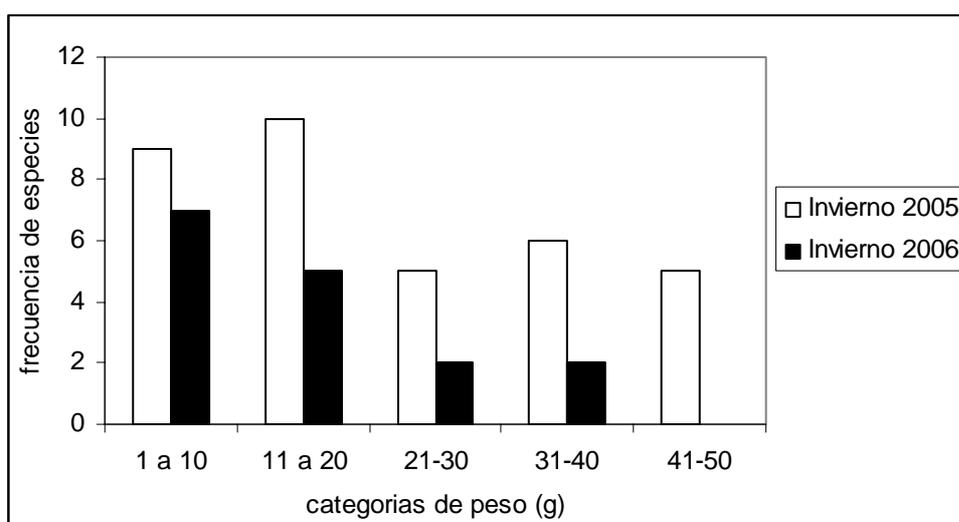


Figura 18. Distribución de frecuencias de número de especies capturadas para cinco categorías de peso (g) del el invierno 2005 e invierno 2006

Las reducciones en riqueza de especies van desde de el 23% de la riqueza de aves de categoría de 1 a 10 g, hasta la ausencia de especies de la categoría de 41 a 50 g, que en el muestreo de invierno 2005 incluyeron a: *Melanerpes aurifrons leei*, *Melanoptila glabirostris cozumelae* y *Attila spadiceus cozumelae*, todas subespecies endémicas de Cozumel. A pesar de las diferencias de las categorías de peso entre ambos muestreos el análisis de Kolmogorov Smirnov para las distribuciones no presentó diferencias significativas.

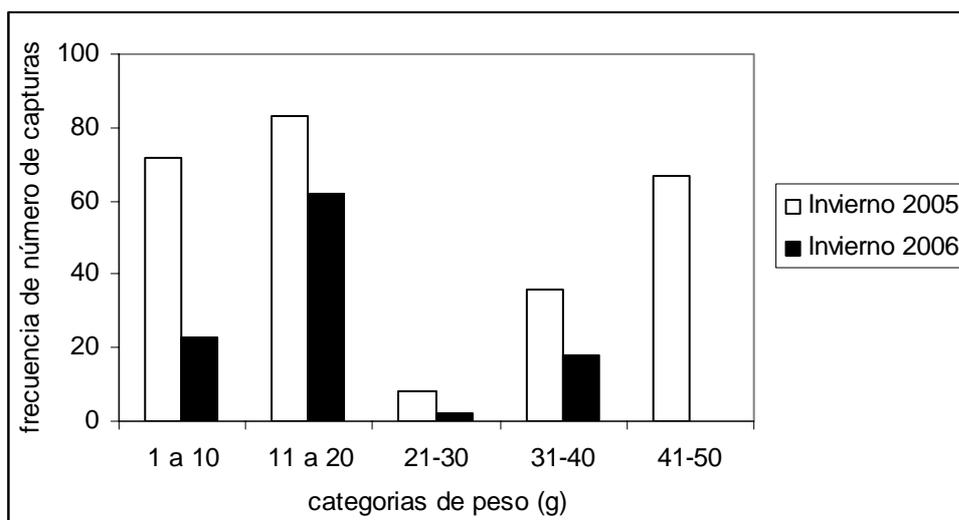


Figura 19. Distribución de frecuencias de número de aves capturadas para cinco categorías de peso (g) en el invierno 2005 e invierno 2006

Los resultados más contrastantes de aves capturadas se observan en las categorías de 1 a 10 g y de 41 a 50 g, con reducciones de 68% y 100% respectivamente (Fig. 19). En la categoría de las aves más ligeras las especies más afectadas fueron migratorias como: *Setophaga ruticilla*, *Wilsonia citrina*, *Mniotilta varia*. En la categoría en que no se presentaron capturas (41-50 g), las especies ausentes fueron: *Melanerpes aurifrons leei*, *Melanoptila glabirostris cozumelae* y *Attila spadiceus cozumelae*, todas subespecies endémicas de Cozumel. A pesar de las diferencias de las categorías de peso entre ambos muestreos el análisis de Kolmogorov Smirnov para las distribuciones no presentó diferencias significativas.

Hay variación en cuanto a la longitud de las alas medidas a las aves capturadas durante los periodos de muestreo invierno 2005 e invierno 2006. Existió una reducción del 14% en la variación de la longitud del ala promedio de las aves capturadas después de los huracanes (64.7 mm en invierno 2006), comparada con la longitud de ala promedio antes de los huracanes (75.2 mm en invierno 2005), que fue significativa para el ANOVA ($F = 11.597$, g.l. = 5, $P < 0.001$). Los datos de longitud de ala usados en el ANOVA presentaron normalidad según el estadístico (Saphiro-Wilk = 0.9017, $P = 0.001$). Los anteriores resultados están influidos por la identidad de las especies capturadas en cada muestreo, ya que del tamaño de estas depende el tamaño promedio y por ende el peso y la longitud alar.

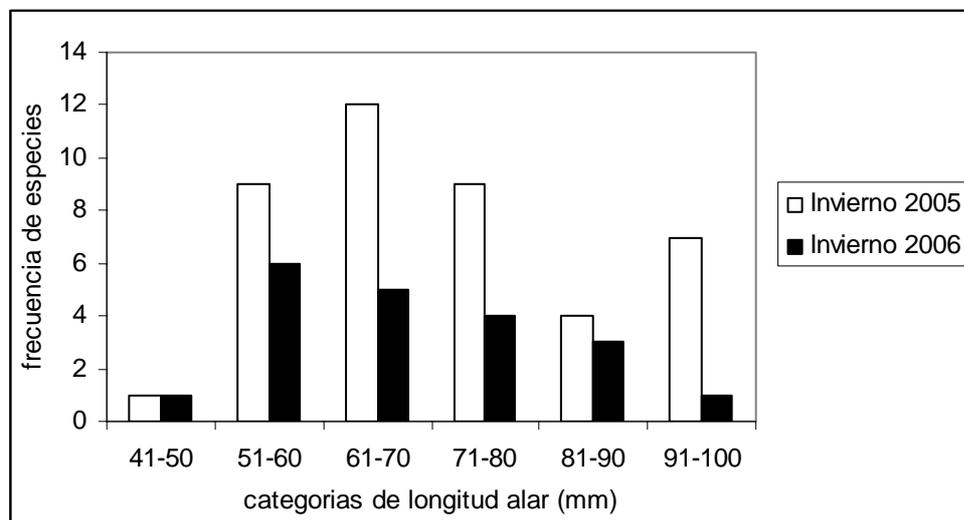


Figura 20. Distribución de frecuencias de número de especies capturadas para seis categorías de longitud alar (mm) en el invierno 2005 e invierno 2006.

Agrupando el número de especies capturadas por 6 categorías de longitud de ala se pueden observar reducciones de riqueza de especies principalmente en las categorías de aves de alas de tamaño mediano (51-80 mm) y en la categoría de mayor tamaño (91-100 mm) con 86% menos de las especies esperadas (Fig. 20). En las categorías de tamaño medio que fueron afectadas encontramos a la especie endémica *Vireo bairdi*, y a las subespecies endémicas: *Tiaris olivacea intermedia*, *Polipotila caerulea cozumelae*, así como a la nectarívora *Coereba flaveola*. A pesar de las diferencias de las categorías de longitud alar entre ambos muestreos el

análisis de Kolmogorov Smirnov para las distribuciones no presentó diferencias significativas.

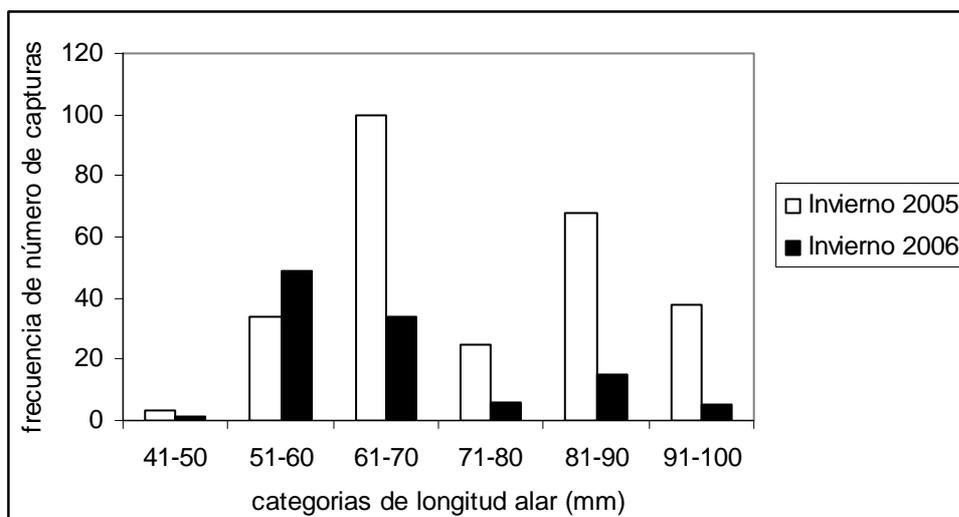


Figura 21. Distribución de frecuencias de número de aves capturadas para cinco categorías de longitud alar (mm) en el invierno 2005 e invierno 2006

Con relación al número de capturas de aves, la mayor reducción en el número de capturas ocurrió en las categorías de aves de alas medianas a grandes (71-100 mm), con reducciones del 76% al 87% de aves (Fig.21). La categoría de tamaño alar de 51 a 60 mm fue la única que presentó aumento en el número del 31%, principalmente por el aumento de capturas de la especie nectarívora *Coereba Flaveola*. A pesar de las diferencias de las categorías de peso entre ambos muestreos el análisis de Kolmogorov Smirnov para las distribuciones no presentó diferencias significativas.

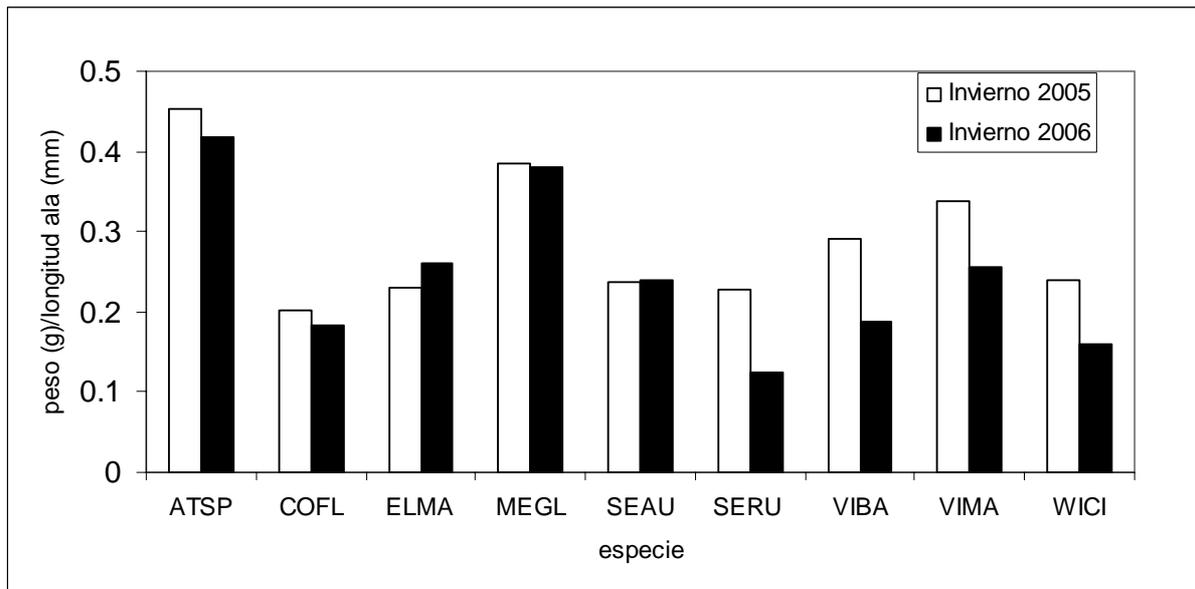


Figura 22. Comparación de valores (peso promedio/longitud alar promedio) por especie, para los muestreos de invierno 2005 e invierno 2006 (ver Tabla 4 para claves de las especies).

Utilizando la relación peso/longitud alar por especie como un indicador de condición física de los individuos, se encontró diferencia significativa entre los datos del invierno antes y después de los huracanes ($t = 2.6$, g. l. = 8, $P = 0.030$) (Fig. 22). De las 9 especies consideradas, siete (cinco residentes y dos migratorias), presentaron una reducción de la variable (peso/longitud alar). Cabe mencionar que dentro las 9 especies que presentaron una disminución del peso respecto al tamaño luego del huracán, *Vireo bairdi* es una especie endémica, y *Attila spadiceus cozumelae* y *Melanoptila glabirostris cozumelae*, son subespecies endémicas a la isla Cozumel. Las tres especies más afectadas por el huracán fueron *Setophaga ruticilla*, *Vireo bairdi* (especie endémica) y *Vireo magister*, con una reducción en su relación peso/longitud alar del 46, 36 y 24% respectivamente. Solamente las especies *Elaenia martinica remota* y *Seiurus aurocapillus* tuvieron un aumento ligero del 14% y el 2% respectivamente luego de los huracanes, en la relación peso/longitud alar (la primera residente y la segunda migratoria) (Fig. 22).

4.4. Discusión

Los principales efectos negativos de los huracanes sobre las aves de sotobosque de las selva mediana de Cozumel fueron: reducción en la abundancia de aves (tasa de captura), reducción en la riqueza de especies, reducción en el peso y el tamaño alar de las aves capturadas, y reducción en el peso relativo (con respecto a la longitud alar) de las aves. Los resultados presentados demuestran un efecto negativo general de los huracanes sobre la avifauna de la selva mediana de Cozumel.

Uno de los efectos negativos de los huracanes sobre la comunidad de aves fue la declinación en el número de capturas y recapturas. Se debe tomar en cuenta que las poblaciones de aves presentan variaciones anuales en la ausencia de huracanes, que se pueden deber a una combinación de cambios ambientales locales, y fluctuaciones demográficas intrínsecas de las especies (Askins & Ewert 1991). Los periodos de invierno son los que se usaron en este trabajo para medir los efectos de los huracanes. Los huracanes disminuyeron el porcentaje de capturas de un invierno a otro en 60%, mientras que el porcentaje de recapturas disminuyó 55% entre los mismos periodos, similar a los resultados encontrados por Askins & Ewert (1991) y diversos trabajos citados por Waide (1991). El porcentaje de disminución en la tasa de recaptura de éste trabajo, coincide con el calculado por Wunderle *et al.* (1992), para poblaciones de sotobosque afectadas por el Huracán Gilberto en Jamaica, que también fue del 60%. La baja en la abundancia relativa puede ser evidencia de la mortalidad de aves durante el huracán por efectos del viento, y después de éste debido a la falta de alimento y pérdida de hábitat principalmente, como resultado de la fuerte destrucción que sufrió la isla (Will 1991, Reijnen & Foppen 1994, Bélisle *et al.* 2001). Resultados similares encontraron Askins & Ewert (1991), para poblaciones de aves afectadas por el huracán Hugo en la isla de St. John, así como Lynch (1991) para poblaciones de aves afectadas por el huracán Gilberto en Puerto Morelos, Quintana Roo. Cabe mencionar que el muestreo para este trabajo, se realizó poco más de 2 meses después de la llegada del huracán. Este tiempo debió ser suficiente para que

las aves encontraran de nuevo su hábitat luego de ser posiblemente desplazadas a otros sitios por los fuertes vientos. Como consecuencia se lograron recapturar aves características de cada sitio, anilladas en ellos en muestreos anteriores.

En cuanto a la riqueza fue notable la disminución del número de especies en el invierno 2006 luego de los huracanes respecto al invierno anterior. Como resultó para el estudio de Klinger 2006 sobre el estudio del efecto de huracanes sobre pequeños mamíferos, los cambios en la composición de especies de aves luego de los huracanes se debieron a la aparición y desaparición de especies raras. Para estudiar más a detalle el efecto de los huracanes sobre la riqueza, se separaron las especies migratorias de las residentes, pudiéndose observar un efecto negativo sobre ambas. El efecto de los huracanes fue mayor sobre la riqueza de las aves migratorias, reduciéndose el número de especies en menos de la mitad del número esperado. Como lo explica Waide (1991) ya que los huracanes ocurren temprano durante los periodos migratorios, las aves migratorias están más propensas a sufrir los efectos secundarios que la mortalidad, aunque la respuesta varía entre las especies. Es posible que para el caso de Wilma en Cozumel, las aves migratorias se vieran más afectadas por el huracán debido a que al suceder éste, estaban apenas llegando de su viaje de migración con pocas reservas de energía como grasa, además de que se encontraron con un hábitat ya afectado ya por el primer huracán (Emily).

La variación de las variables morfométricas de peso y el tamaño de ala confirman el efecto negativo del huracán sobre las aves sobrevivientes. En general, a nivel de la comunidad, se capturaron aves de un tamaño promedio menor después del huracán. Así mismo, a nivel de especie se observó un efecto negativo del huracán sobre la condición física de las aves, reflejado en una disminución del peso relativo después de los huracanes.

Para las especies frugívoras lo anterior puede explicarse por la escasez de frutos luego de los huracanes, ya que Wilma ocurrió al inicio de la época de secas, y la recuperación de la vegetación comenzó a ocurrir lentamente pero solo en cuanto a hojas, no de frutos (Obs.

Pers.). Lo anterior coincide con los resultados de Klinger 2006 quien indica que los efectos indirectos de los huracanes sobre pequeños mamíferos son resultado de la poca disponibilidad de alimentos y cambios en la estructura de la vegetación. No existen estudios acerca de huracanes con efecto sobre variables morfométricas, pero Lynch (1991), encontró que las especies más afectadas son las frugívoras e insectívoras. Sin embargo Waide (1991) explica que en áreas con huracanes frecuentes la resiliencia de poblaciones de insectos después de la perturbación puede funcionar como amortiguador para aves insectívoras y omnívoras. Sea cual fuere el mecanismo específico, sin duda la severa destrucción de la vegetación en la selva, es causa indirecta de la disminución de las variables morfométricas que representan el estado de salud de las aves de la selva de Cozumel luego de los huracanes. Los huracanes han afectado a Cozumel con una frecuencia de uno aproximadamente cada 10 años. A pesar de esto, la avifauna de la isla se ha podido recuperar. Sin embargo la avifauna de la isla se enfrenta ahora a huracanes más intensos, o como en el 2005 a dos huracanes en el mismo verano. Cabe resaltar que los presentes resultados son de un estudio llevado a cabo a corto plazo (tres meses posteriores al huracán Wilma), sin embargo Waide (1991) indica que los efectos negativos permanecen por hasta seis meses, y los niveles de abundancia y riqueza de aves pueden tardar en regresar al estado del prehuracán, hasta 17 meses, o el tiempo que tome en recuperarse la selva y sus recursos alimenticios.

Implicaciones para la Conservación

Los huracanes son perturbaciones naturales que tienen efectos negativos inmediatos sobre la avifauna como se puede constatar en este trabajo. Según Klinger (2006) las características de la perturbación (duración, frecuencia, intensidad, etc.) determinarán los efectos en la comunidad, y la resistencia a estos dependerá en gran parte de esta variación. El riesgo actual para las aves de la Isla Cozumel, es la suma de las perturbaciones naturales como los huracanes, con las perturbaciones antropogénicas como por ejemplo la destrucción y pérdida del hábitat natural para la construcción de complejos turísticos, la construcción de caminos y

carreteras que fragmentan la selva, o la introducción de especies animales y vegetales ajenas a la isla. Lynch (1991) resalta la importancia del efecto del fuego en los meses posteriores al huracán, pues parece tener efectos más severos y duraderos sobre las aves que el mismo huracán. Estos problemas, que suceden actualmente en Cozumel, las características de la isla, y el estado actual de la comunidad de aves, pueden reducir el número de especies en el hábitat, e incrementar las tasas de endemismos y extinción, poniendo en riesgo el ya frágil ecosistema que es la selva de Cozumel.

4.5. Conclusiones

- Los resultados obtenidos son evidencia de que los huracanes tienen efectos negativos de gran magnitud sobre las aves de sotobosque.
- Los huracanes Emily y Wilma disminuyeron el número de capturas y recapturas que se tenía previo a estos en 60% y 55% respectivamente.
- La riqueza de especies se vio disminuida en casi la mitad luego de los huracanes.
- 19% de las especies capturadas luego de los huracanes presentó reducción en su abundancia relativa.
- De 9 especies en las que se pudo comparar la condición física antes y después de los huracanes en 7 hubo efectos negativos, incluso en una especie se midió casi la mitad de peso que tenían los individuos antes de los huracanes.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

- Los resultados obtenidos son evidencia de que existen efectos negativos de los caminos sobre las aves de sotobosque.
- La magnitud del efecto barrera es diferente en caminos de distintas anchuras. El efecto barrera aumenta al aumentar la anchura del camino.
- Los resultados obtenidos son evidencia de que los huracanes tienen efectos negativos de gran magnitud sobre las aves de sotobosque.
- Los huracanes Emily y Wilma disminuyeron el número de capturas y recapturas, así como la condición física de las especies determinada a través de variables morfométricas.
- La comunidad de aves de sotobosque de Cozumel a través del tiempo se ha visto afectada de manera cíclica a perturbaciones naturales como huracanes, la sinergia de estos con los caminos en la selva como perturbación antropogénica puede llevar a esta comunidad a efectos negativos permanentes e irreversibles.

6 LITERATURA CITADA

- Antochiw, M. & Dachary, A.C. 1991.** Historia de Cozumel. Consejo Nacional Para la Cultura y las Artes. México. 413 pp.
- Archer, J. 1991.** Hurricane! Natures Disasters. Creestwood House.USA. 1 ed. 48 pp.
- Askins, R. & Ewert, D. 1991.** Impact of Hurricane Hugo on Bird Populations on St. John, U.S. Virgin Islands. *Biotropica* 23(4a): 481-487.
- AZE 2005.** Alliance for Zero Extinction. Pinpointing and conserving epicenters of imminent extinctions.
<http://www.zeroextinction.org/>
- Bélisle, M., Desrochers, A. & Fotín, M.J. 2001.** Influence of forest cover on the movements of forest birds: a homing experiment. *Ecology* 82(7) : 1893-1904.
- Bélisle, M. & St. Clair, C. 2001.** Cumulative effects of barriers on the movements of forest birds. *Conservation Ecology* 5(2):9.
- Burnett, S. 1992.** Effects of a Rainforest Road on Movements of Small Mammals: mechanisms and Implications. *Wildlife Research*: 19:95-104.
- Chapin, F.S., Matson, P.A., Mooney, H.A. 2002.** Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer-Verlag New York, EUA.
- Dale, S., Mork, K., Solvang, R. & Plumtre, A. 2000.** Edge Effects on the Understory Bird Community in a Logged Forest in Uganda. *Conservation Biology* 14(1): 265-276.
- Desrochers, A. & Hannon, S. 1997.** Gap Crossing Decisions by Forest Songbird during the Post-Fledgling Period. *Conservation Biology* 11(5):1204-1210.
- Develey, P. & Stouffer, P. 2000.** Effects of Roads on Movements by Understory Birds in Mixed-Species Flocks in Central Amazonia Brazil. *Conservation Biology* 15(5): 1416-1422.
- Forman, R. & Alexander, L. 1998.** Roads and their major ecological effects. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 1998. 29:207-31.
- Freidel, D. & Sabloff, J. 1984.** Cozumel: Late Maya Settlement Patterns. Academia Press. USA. 207 pp.
- García, E. 1973.** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. Instituto de Geografía, UNAM. México, 217 pp.
- Gobierno del Estado de Quintana Roo 1987.** Monografía Municipal de Cozumel. CEEM. México. 37 pp.

- Gobierno del Estado de Quintana Roo 2005.** Cozumel. Portal del Gobierno del Estado de Quintana Roo. México.
<http://www.qroo.gob.mx/qroo/Estado/Cozumel.php>
- Goosem, M. 1997.** Internal Fragmentation: the effects of roads, highways and powerline clearings on movement and mortality of rainforest vertebrates. In *Tropical Forest Remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities*. Pp 241-255. In: W.F. Laurance & R.O. Biorregard Jr. (eds.). *Tropical Forest Remnants: Ecology, Management, and Conservation of Fragmented Communities*. The University of Chicago Press, Chicago, Illinois.
- Howell & Webb, 2005.** *A Guide to the Birds of Mexico and Northern Central America*. Oxford University Press. N.Y., U.S.A.
- Huntington & Barbour, 1936.** The birds at Soledad, Cuba, after a hurricane. *The Auk*. 53:436-437.
- INEGI, 1994.** Cozumel, Estado de Quintana Roo. Cuaderno Estadístico Municipal. Edición 1993. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. 117 pp.
- Johns, A. 1991.** Responses of Amazonian rain forest birds to habitat modification. *Journal of Tropical Ecology* 7:417-437.
- Klinger, R. 2006.** The Interaction of Disturbances and Small Mammal Community Dynamics in a lowland forest in Belize. *Journal of Animal Ecology* 75: 1227-1238.
- Kuitunen, M, Rossi, E. & Stenroos, A. 1998.** Do highways Influence Density of Land Birds ? *Environmental Management* 22(2):97-302.
- Laurance, S. 2004.** Responses of understory rain forest birds to road edges in central Amazonia. *Ecological Applications* 14(5): 1344-1357.
- Laurance, S., Stouffer, P. & Laurance, W. 2004.** Effects of Road Clearings on Movement Patterns of Understory Rainforest Birds in Central Amazonia. *Conservation Biology* 18(4): 1099-1109.
- Levey, D. 1988.** Tropical wet forest treefall gaps and distributions of understory birds and plants. *Ecology* 69:1076-1089.
- Lima, S. & Dill, M. 1990.** Behavioral decisions made under the risk of predation: a review and prospectus. *Canadian Journal of Zoology* 68:619-640.
- López-Ornat, A., J.F. Linch & B. Mackinnon. 1989.** New and noteworthy records of birds from the eastern Yucatan Peninsula. *Wilson Bulletin* 101 (3) 390:409.
- Lynch, J. F. 1991.** Effects of Hurricane Gilbert on Birds in a Dry Tropical Forest in the Yucatan Peninsula. *Biotropica* 23(4a):488-496.

- Macouzete, T.M. 1997.** Diversidad Avifaunística de la Isla Cozumel, Quintana Roo, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 120 pp.
- National Geographic 2002.** Field Guide to the Birds of North America. Fourth Edition. Washington, D.C. 480 pp.
- Paynter, R. A., Jr. 1955.** The ornithogeography of the Yucatán Peninsula. Peabody Museum of Natural History. Bulletin 9. Yale University. New Haven, Connecticut, USA. 347 pp.
- Picket, S., Wu, J. & Cadenasso, M. 1999.** Patch dynamics and the ecology of disturbed ground: A framework for synthesis. 707-722 in Walker, L.R., editor. *Ecosystems of Disturbed Ground*. Elsevier, Amsterdam.
- Reijnen, R. & Foppen, R. 1994.** The effects of car traffic on breeding bird populations in woodland, I, Evidence of reduced habitat quality for willow warblers (*Phylloscopus trochilus*) breeding close to a highway. *Journal of Applied Ecology* 31:85-94.
- Restrepo, C & Gómez, N. 1998.** Responses of understorey birds to anthropogenic edges in a Neotropical montane forest. *Ecological Applications* 8:170-183.
- Ridgway, R. 1885.** Description of some new bird species from Cozumel Island, Yucatan. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 3:2-24. (Presented in 1885; volume published in 1886).
- Robertson, W.B Jr & J.A. Kushlan 1974.** The southern Florida avifauna. Pp. 219-257. In: P.J. Gleason (Ed.), *Environments of South Florida: Present and Past, II*. Miami Geological Society, Coral Gables, FL..
- Salvin, O. 1885.** On a collection of birds from the island of Cozumel. *Ibis* 5:185-194
- Salvin, O. 1889.** A list of the birds of the islands of the Coast of Yucatán and of the Bay of Honduras. *The Ibis. Sixth Series.* 1:359-379.
- Seiler, A. & Ericsson, I.M. 1997.** New approaches for ecological consideration in Swedish road planning. - In: Canters, K., Piepers, A. and Hendriks-Heersma, A., (Eds.) *Proceedings of the international conference on "Habitat fragmentation, infrastructure and the role of ecological engineering"*, Maastricht & DenHague 1995, pp. 253-264. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Road and Hydraulic Engineering division, Delft, The Netherlands.
- Sclater, 1890.** *Cat. Birds Brit. Mus.*, XV (119).
- SCT. 2002.** Secretaria de Comunicaciones y Transportes. México.
<http://www.sct.gob.mx>

- SMN 2005.** Datos Históricos de Ciclones Tropicales. Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. México.
<http://smn.cna.gob.mx>
- SEMARNAT 2005.** Parque Marino Nacional Arrecifes de Cozumel. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
<http://www.semarnat.gob.mx/regiones/cozumel/parque.shtml>
- SYSTAT 11. 2004.** SYSTAT Software, Inc.
- Sutton, G.M. 1945.** Behavior of birds during a Florida hurricane. *Auk* 62: 603-606.
- Téllez, O., Cabrera, E.F., Linares, E. & Bye, R. 1989.** Las Plantas de Cozumel. (Guía Botánico-Turística de la Isla de Cozumel, Quintana Roo). Instituto de Biología, UNAM. México.
- Todd, I. & Cowie, R. 1990.** Measuring the risk of predation in an energy currency: field experiments with foraging blue tits, *Parus caeruleus*. *Animal Behavior* 40:112-117.
- Trombulak, S. & Frissel, C. 2000.** Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. *Conservation Biology* 14(1): 18-30.
- Waide, R. 1991.** Summary of the Response of Animal Populations to Hurricanes in the Caribbean. *Biotropica* 23(4a):508-512.
- Will, T. 1991.** Birds of a severely hurricane-damaged Atlantic Coast rain forest in Nicaragua. *Biotropica*. 23(4a):497-507.
- Wunderle, J.M., Lodge, D., & Waide, R.B. 1992.** Short-Term Effects of Hurricane Gilbert on Terrestrial Bird Populations on Jamaica. *The Auk* 109(1):148-166.

7. APÉNDICES

Apéndice 1. Listado de todas las especies de aves registradas en Cozumel (modificado de Howell & Webb, 1995). En Perdomo 2006 se incluyen todas las especies capturadas durante todos los muestreos

Especie	Nombre Común	Paynter 1955	Macouzet 1997	Perdomo 2006
<i>Actitis macularia</i>	Playero alzacolita	X	X	
<i>Ajaia ajaja</i>	Espátula rosada	X	X	
<i>Amazona xantholora</i>	Loro yucateco	X	X	
<i>Ammodramus savannarum</i>	Gorrión chapulín	X		
<i>Anas a. acuta</i>	Pato golondrino norteño			
<i>Anas clypeata</i>	Pato cucharón norteño			
<i>Anas discors</i>	Cerceta aliazul	X	X	
<i>Anous stolidus</i>	Golondrina-boba café			
<i>Anhinga anhinga leucogaster</i>	Anhinga americana	X	X	
<i>Anthracothorax prevostii</i>	Mango pechiverde	X	X	
<i>Ardeas herodias</i>	Garzón Cenizo		X	
<i>Arenaria interpres</i>	Vuelve piedras rojizo	X		
<i>Asio stygius</i>	Búho-cornudo oscuro			
<i>Attila spadiceus cozumelae</i>	Atila rabadilla-brillante	X	X	X
<i>Aythya affinis</i>	Pato-boludo menor			
<i>Aythya collaris</i>	Pato piquianillado			
<i>Bombycilla cedrorum</i>	Ampelis americano			
<i>Bubulcus ibis</i>	Garza ganadera	X	X	
<i>Buteo brachyurus fuliginous</i>	Aguililla colicorta	X		
<i>Buteogallus anthracinus</i>	Aguililla menor	X		
<i>Buteo magnirostris gracilis</i>	Aguililla caminera	X	X	
<i>Butorides striatus</i>		X	X	
<i>Butorides virescens</i>	Garza verde			
<i>Cairina moschata</i>		X		
<i>Calidris alba</i>	Playero blanco	X		
<i>Calidris canutus rufa</i>	Playero gordo			
<i>Calidris fuscicollis</i>	Playerito rabadilla blanca	X		
<i>Calidris mauri</i>	Playerito occidental	X		
<i>Calidris minutilla</i>	Playerito mínimo	X		
<i>Camptostoma imberbe</i>	Mosquitero cejiblanco	X	X	X
<i>Caprimulgus badius</i>	Tapacaminos yucateco	X		X
<i>Cardinalis cardinalis saturata</i>	Cardenal norteño	X	X	X
<i>Casmerodius albus</i>	Garza blanca	X	X	
<i>Cathartes aura</i>	Aura cabecirroja	X	X	
<i>Catharus fuscescens</i>	Zorzalito rojizo	X	X	
<i>Catharus minimus</i>	Zorzalito carigris	X	X	
<i>Catharus mustelinus</i>	Zorzito maculado			
<i>Catharus ustulatus</i>	Zorzalito de Swainson			
<i>Catoptrophorus semipalmatus</i>	Playero Pihuihui	X		
<i>Ceryle alcyon</i>	Martín pescador norteño	X	X	X
<i>Centurus aurifrons</i>	Carpintero frentodorado			
<i>Centurus pygmaeus</i>	Carpintero yucateco			X
<i>Chaetura pelagica</i>	Vencejo de chimenea	X		
<i>Chaetura vauxi gaumer</i>	Vencejo de Vaux	X		
<i>Charadrius alexandrinus</i>	Chorlito Níveo			
<i>Charadrius semipalmatus</i>	Chorlito semipalmado			
<i>Charadrius vociferus</i>	Chorlito tildio	X		
<i>Charadrius wilsonia</i>	Chorlito poquigrueso	X		
<i>Chloroceryle aenea stictoptera</i>	Martín pescador enano	X	X	
<i>Chlorostilbon canivetti forficatus</i>	Esmeralda de Cozumel	X	X	X

<i>Chondrohierax uncinatus</i>	Milano piquiganchudo			
<i>Chordeiles acutipennis</i>	Chotocabras menor	X		
<i>Chordeiles minor</i>	Chotocabras mayor			
<i>Claravis pretiosa</i>	Tórtola azul			
<i>Coccyzus americanus</i>	Cuco piquiamarillo	X	X	
<i>Coccyzus minor</i>	Cuco manglero	X	X	X
<i>Cochlearius cochlearius zeledoni</i>	Garza cucharón	X		
<i>Coereba flaveola</i>	Platanero	X	X	X
<i>Columba leucocephala</i>	Paloma coroniblanca	X	X	
<i>Columba livia</i>	Paloma domestica			
<i>Columbina inca</i>			X	
<i>Columbina passerina</i>	Tortula común	X	X	
<i>Columbina talpacoti</i>	Tórtola rojiza	X	X	
<i>Contopus cinereus</i>	Pibí tropical	X	X	
<i>Contopus virens</i>	Pibí oriental	X	X	
<i>Coragyps atratus</i>	Zopilote negro	X	X	
<i>Crax rubra griscomi</i>	Hocofaisán	X	X	
<i>Crotophaga ani</i>	Garrapatero piquiliso	X		
<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Garrapatero sulcirostris	X		
<i>Cyanerpes cyaneus</i>	Mielero petirrojo			
<i>Cyclarhis gujanensis insularis</i>	Vireón cejirrufo	X	X	X
<i>Dendroica caerulescens</i>	Chipe azuloso	X	X	X
<i>Dendroica castanea</i>	Chipe pechicastaño		X	
<i>Dendroica coronata</i>	Chipe rabadilla-amarilla	X		
<i>Dendroica discolor</i>	Chipe pradeño	X	X	
<i>Dendroica dominica</i>	Chipe gorjiamarillo	X	X	
<i>Dendroica fusca</i>	Chipe gorginaranja			
<i>Dendroica magnolia</i>	Chipe de Magnolia	X	X	X
<i>Dendroica palmarum</i>	Chipe playero	X	X	
<i>Dendroica pensylvanica</i>	Chipe flanquicastaño		X	X
<i>Dendroica petechia rufivertex</i>	Chipe amarillo	X	X*	X
<i>Dendroica pinus</i>			X	
<i>Dendroica rufivertex</i>				
<i>Dendroica striata</i>	Chipe gorrinegro			X
<i>Dendroica tigrina</i>	Chipe atigrado			
<i>Dendroica virens</i>	Chipe dosiverde	X	X	
<i>Dumetella carolinensis</i>	Pájaro gato gris		X	X
<i>Dumetella glabirostris</i>	Pájaro gato negro			
<i>Egretta alba egretta</i>	Garza grande			
<i>Egretta caerulea</i>	Garza azul	X	X	
<i>Egretta rufescens</i>	Garza rojiza	X	X	
<i>Egretta thula</i>	Garza nívea	X	X	
<i>Egretta tricolor</i>	Garza tricolor	X	X	
<i>Elaenia martinica remota</i>	Elenia caribeña	X	X	X
<i>Elanoides forficatus</i>	Milano tijera			
<i>Empidonax minimus</i>	Mosquitero mínimo	X	X	
<i>Empidonax virescens</i>	Mosquitero verdoso		X	
<i>Eudocimus albus</i>	Ibis blanco	X	X	
<i>Falco columbarius</i>	Esmerejon	X	X	
<i>Falco peregrinus</i>	Halcón peregrino			
<i>Falco ruficularis</i>	Halcón murcielaguero			
<i>Falco sparverius</i>	Cernicalo americano			
<i>Fregata magnificens</i>	Fragata magnífica	X	X	
<i>Fulica americana</i>	Gallareta americana	X		
<i>Gallinago gallinago</i>	Agachona común			
<i>Gallinula chloropus</i>	Gallineta común	X		

<i>Geothlypis trichas</i>	Mascarilla común	X	X	X
<i>Guiraca caerulea caerulea</i>		X		
<i>Habia fuscicauda</i>	Tángara hormiguera corjirroja		X	
<i>Haematopus palliatus</i>	Ostrero americano	X		
<i>Hemiltheros swainsonii</i>	Chipe de Swainson			
<i>Helmitheros vermivorus</i>	Chipe gusanero	X	X	X
<i>Himantopus mexicanus</i>	Candelero americano	X	X	
<i>Hirundo pyrrhonota</i>	Golondrina risquera	X		
<i>Hirundo rustica erythrogaster</i>	Golondrina ranchera	X	X	
<i>Hylocichla mustelina</i>			X	X
<i>Icteria virens</i>	Gritón pechoamarillo	X	X	
<i>Icterus cucullatus</i>	Bolsero cuculado	X	X	
<i>Icterus galbula</i>	Bolsero de Baltimore		X	
<i>Icterus spurius</i>	Bolsero castaño	X		
<i>Ixobrychus exilis</i>	Avetorito americano			
<i>Jacana spinosa</i>	Jacana mesoamericana	X		
<i>Larus argentatus</i>	Gaviota plateada			
<i>Larus atricilla</i>	Gaviota reidora	X		
<i>Laterallus ruber</i>	Polluela rojiza	X		
<i>Leptotila jamaicensis gaumeri</i>		X	X	X
<i>Limnodromus griseus</i>	Costurero picocorto	X	X	
<i>Limnothlypis swainsoni</i>	Chipe corona café		X	
<i>Melanerpes aurifrons leei</i>		X	X	X
<i>Melanerpes pygmaeus pygmaeus</i>		X	X	
<i>Melanoptila glabirostris cozumelana</i>		X	X	X
<i>Mimus gilvus</i>	Cenzontle sureño	X	X	X
<i>Mniotilta varia</i>	Chipe trepador	X	X	X
<i>Molothrus ater ater</i>		X		
<i>Monothrus ater</i>				
<i>Mycteria americana</i>	Cigüeña americana	X		
<i>Myiarchus crinitus</i>	Copetón viajero		X	
<i>Myiarchus tuberculifer</i>	Copetón triste	X	X	X
<i>Myiarchus tyrannulus</i>	Copetón tirano	X	X	X
<i>Myiarchus yucatanensis</i>	Copetón yucateco	X	X	
<i>Myiopagis viridicata</i>	Elenia verdosa	X	X	X
<i>Nyctanassa violacea violacea</i>		X		
<i>Nyctidromus albicollis</i>	Tapacamino picuyo	X		
<i>Nycticorax violaceus</i>	Garza-nocturna coroniclara			
<i>Nyctiphrynus yucatanicus</i>	Pachagua yucateca			
<i>Oporornis formosus</i>	Chipe de Kentucky	X	X	X
<i>Otus guatemalae</i>	Tecolote vermiculado			
<i>Oxyura dominica</i>	Pato enmascarado			
<i>Pandion haliaetus</i>	Gavilán pescador	X	X	
<i>Parula americana</i>		X	X	
<i>Passerina caerulea</i>	Picogrueso azul			
<i>Passerina ciris</i>	Colorín sietecolores	X	X	
<i>Passerina cyanea</i>	Colorín azul	X	X	X
<i>Pelecanus occidentalis</i>	Pelícano café	X	X	
<i>Phaethon lepturus</i>	Rabijunco coliblanco			
<i>Phalacrocorax auritus</i>	Cormorán bicrestado	X		
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	Cormorán neotropical			
<i>Phalacrocorax olivaceus</i>	Cormorán oliváceo	X	X	
<i>Pheucticus ludovicianus</i>	Picogrueso pechirosado	X		
<i>Phoenicopterus ruber</i>	Flamingo americano	X		
<i>Piranga olivacea</i>	Tángara escarlata			

<i>Piranga roseogularis cozumelae</i>	Tángara yucateca	X	X	X
<i>Piranga rubra</i>	Tángara roja	X	X	X
<i>Platalea ajaja</i>	Espátula rosada			
<i>Plegadis falcinellus</i>	Ibis lustroso			
<i>Pluvialis squatarola</i>	Chorlo gris	X		
<i>Podilymbus podiceps</i>	Zambullidor piquipinto	X		
<i>Polioptila fuscescens fuscescens</i>				
<i>Polioptila caerulea cozumelae</i>	Perlita grisilla	X	X	X
<i>Porphyryla martinica</i>	Gallineta morada	X		
<i>Porzana carolina</i>	Polluela Sora	X		
<i>Progne chalybea</i>	Martín pechigris			
<i>Progne subis</i>	Martín azul	X	X	
<i>Protonotaria citrea</i>	Chipe protonotario	X	X	
<i>Puffinus lherminieri</i>	Pardela de Audubon			
<i>Quiscalus mexicanus</i>	Tordo arrocero	X	X	
<i>Rallus limicola</i>			X	
<i>Riparia r. riparia</i>	Golondrina ribereña	X		
<i>Rynchops niger niger</i>	Rayador americano	X		
<i>Seiurus auropillus</i>	Chipe suelero coronado	X	X	X
<i>Seiurus motacilla</i>	Chipe suelo arroyero		X	
<i>Seiurus noveboracensis</i>	Chipe suelero charquero	X	X	X
<i>Setophaga ruticilla</i>	Chipe flameante	X	X	X
<i>Sphyrapicus varius</i>	Chupasavia vientre-amarillo			
<i>Sialia sialis</i>	Azulejo gorjicanelo			
<i>Spindalis zena benedicti</i>	Tángara cabecirrayada	X	X	X
<i>Spizella pallida</i>				
<i>Sporophila torqueola</i>	Semillero collajero		X	
<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	Golondrina aliserraada norteña			
<i>Stercorarius longicaudus</i>	Salteador colilargo			
<i>Stercorarius parasiticus</i>	Salteador parásito			
<i>Stercorarius pomarinus</i>	Salteador pomarino			
<i>Sterna anaethetus</i>	Golondrina marina embridada			
<i>Sterna antillarum</i>	Golondrina marina mínima		X	
<i>Sterna caspia</i>	Golondrina marina caspica	X		
<i>Sterna dougallii</i>	Golondrina marina rosada			
<i>Sterna fuscata</i>	Golondrina marina oscura			
<i>Sterna hirundo</i>	Golondrina marina común			
<i>Sterna maxima</i>	Golondrina marina real	X		
	Golondrina marina de			
<i>Sterna sandvicensis</i>	Sandwich	X		
<i>Tachycineta bicolor</i>	Golondrina arbolera			
<i>Tachycineta a. albilinea</i>	Golondrina manglera			
<i>Tachycineta bicolor</i>	Golondrina bicolor		X	
<i>Tachybaptus dominicus</i>	zambullidor menor	X		
<i>Tiaris olivacea intermedia</i>	Semillero oliváceo	X	X	X
<i>Tigrosoma mexicanum mexicanum</i>		X		
<i>Tringa melanoleuca</i>	Patamarilla mayor			
<i>Tringa flavides</i>	Patamarilla menor	X	X	
<i>Tringa solitaria</i>	Playero solitario		X	
<i>Toxostoma guttatum</i>	Cuitlacoche de Cozumel	X	X	
<i>Troglodytes aedon beani</i>	Chivirin de Cozumel	X	X	X
<i>Troglodytes beani</i>	Saltapared de Cozumel			
<i>Turdus migratorius</i>	Zorzal petirrojo			
<i>Tyrannus dominicensis</i>	Tirano gris	X		
<i>Tyrannus forficatus</i>	Tirano tijera rosado			
<i>Tyrannus melancholicus</i>	Tirano tropical	X	X	

<i>Tyrannus tyrannus</i>	Tirano viajero	X		
<i>Tyto alba</i>	Lechuza de campanario			
<i>Vermivora celata</i>	Chipe corona-naranja		X	
<i>Vermivora chrysoptera</i>	Chipe alidorado			
<i>Vermivora peregrina</i>	Chipe peregrina	X	X	
<i>Vermivora pinus</i>	Chipe azul		X	X
<i>Vermivora ruficapilla</i>	Chipe de Nashville		X	
<i>Vireo bairdi</i>	Viirideo de Cozumel	X	X	X
<i>Vireo flavifrons</i>	Virideo gorjiamarillo	X		X
<i>Vireo griseus</i>	Virideo ojiblanco	X	X	
<i>Vireo m. magister</i>	Virideo yucateco	X	X	X
<i>Vireo olivaceus</i>	Virido ojirrojo		X	
<i>Vireo philadelphicus</i>	Virideo Filadelfia	X		
<i>Volatinia jacarina spendens</i>	Semillero brincador		X	
<i>Wilsonia canadensis</i>	Chipe collajero		X	
<i>Wilsonia citrina</i>	Chipe encapuchado	X	X	X
<i>Zenaida asiatica</i>	Paloma aliblanca	X	X	
<i>Zenaida aurita</i>	Paloma de Zenaida	X		
<i>Zenaida macroura</i>	Paloma huilota	X		

Apéndice 2. Tablas generales de datos para los muestreos de efecto de caminos en cruces. A) Verano 2005, B) Invierno 2005, C) Verano Pre-Emily 2005, D) Verano Pre-Wilma 2005, E) Invierno 2006.

A)

Camino	3 m	9 m	19 m	Total
capturas	215	186	259	660
recapturas	31	31	28	90
Cruces	9	13	5	27
Riqueza	15	11	18	20

B)

Camino	3 m	9 m	19 m	Total
Capturas	93	82	93	268
recapturas	20	26	16	62
Cruces	11	16	4	31
Riqueza	19	17	20	28

C)

Camino	3 m	9 m	19 m	Total
Capturas	7	71	74	152
Recapturas	1	23	7	31
Cruces	0	3	2	5
Riqueza	2	13	9	16

D)

Camino	3 m	9 m	19 m	Total
Capturas	82	161	0	243
Recapturas	15	27	0	42
Cruces	2	6	0	8
Riqueza	32	22	0	36

E)

Camino	3 m	9 m	19 m	Total
Capturas	36	22	53	111
Recapturas	7	4	17	28
Cruces	1	0	0	1
Riqueza	10	7	8	15

Apéndice 3. Composición total de especies que presentaron cruces al camino. Se presentan al final de las tablas en color rojo, las especies que presentaron movimientos perpendiculares y paralelos al camino, pero que no cruzaron cada camino. A) Verano 2004, B) Invierno 2005, C) Verano Pre Emily 2005, D) Verano Pre Wilma 2005. (Las casillas vacías en las Tablas C y D corresponden a los sitios que no se terminaron de muestrear por causa de los huracanes)

A)

	3 m	9 m	19 m	Total
<i>Melanoptila glabirostris cozumelae</i>	6	10	3	19
<i>Vireo magister</i>	2	0	1	3
<i>Troglodytes aedon beani</i>	1	2	0	3
<i>Coereba flaveola</i>	0	1	0	1
<i>Oporornis formosus</i>	0	0	1	1
<i>Leptotila jamaicensis</i>			*	
<i>Vireo bairdi</i>			*	
<i>Elaenia flavogaster</i>			*	
Total Cruces	9	13	5	27

B)

	3 m	9 m	19 m	Total
<i>Melanoptila glabirostris cozumelae</i>	7	4	2	13
<i>Wilsonia citrina</i>	1	3	1	5
<i>Setophaga ruticilla</i>	0	3	1	4
<i>Seiurus aurocapillus</i>	2	2	0	4
<i>Vireo bairdi</i>	0	3	0	3
<i>Helmitheros vermivorous</i>	1	0	0	1
<i>Troglodytes aedon beani</i>	0	1	0	1
<i>Dendroica magnolia</i>	*	*		
Total Cruces	11	16	4	31

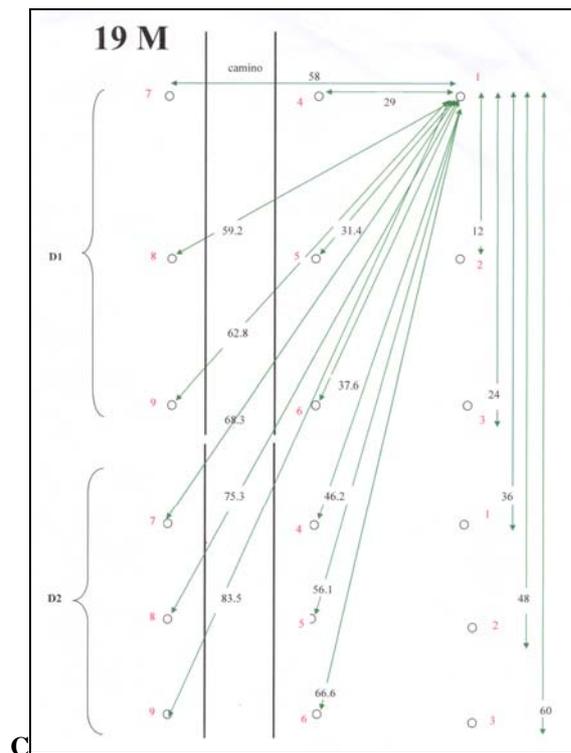
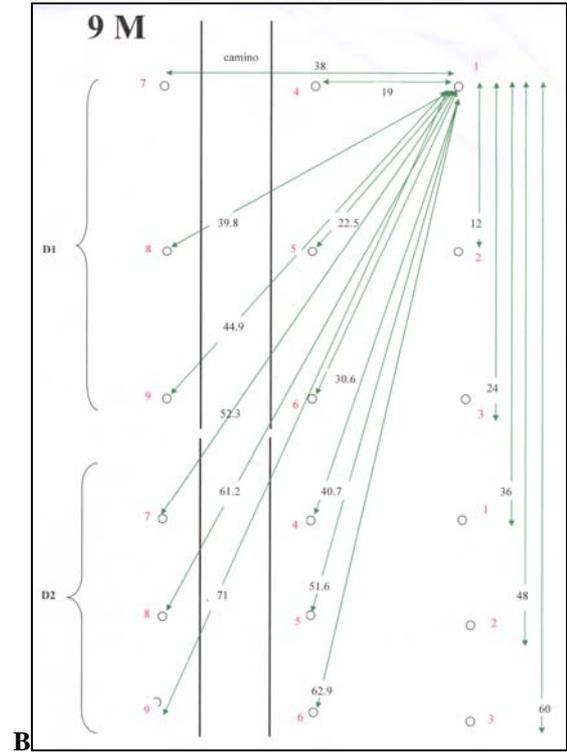
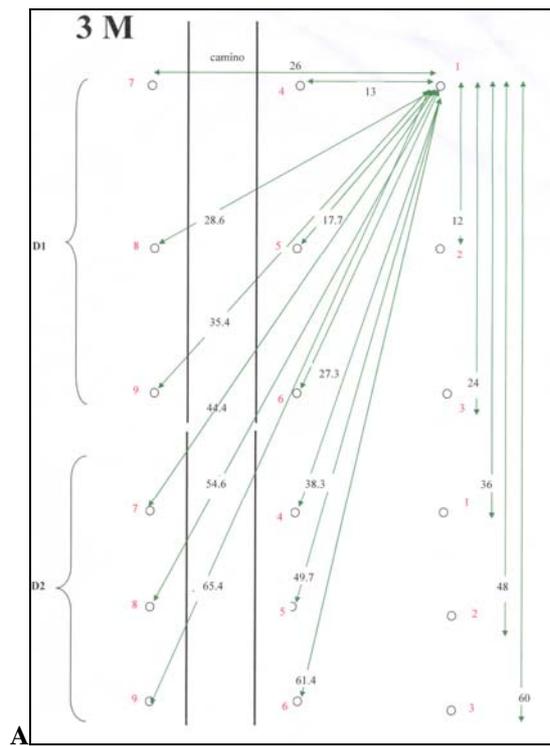
C)

	3 m	9 m	19 m	Total
<i>Melanoptila glabirostris cozumelae</i>		2	1	3
<i>Coereba flaveola</i>		1	0	1
<i>Vireo Magister</i>		0	1	1
<i>Troglodytes aedon beani</i>			*	
<i>Caprimulgus badius</i>			*	
Total Cruces		3	2	5

D)

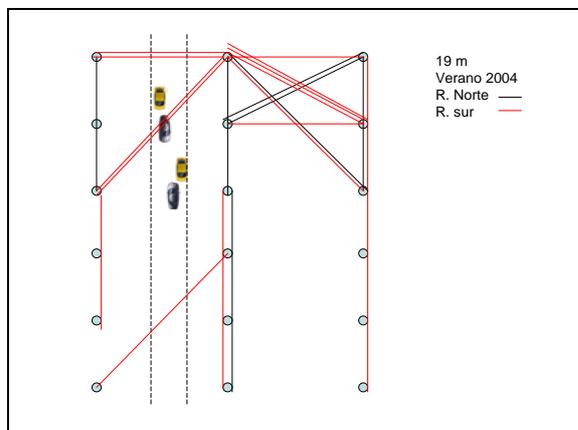
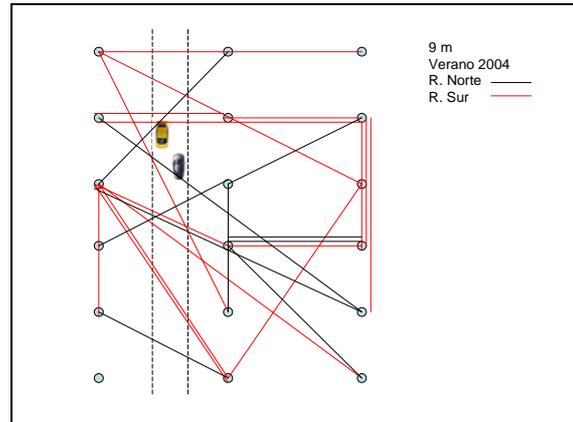
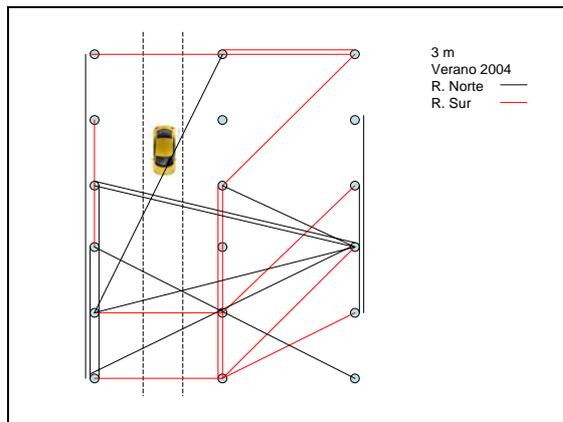
	3 m	9 m	19 m	Total
<i>Melanoptila glabirostris cozumelae</i>	1	1		2
<i>Coereba flaveola</i>	0	2		2
<i>Dendroica magnolia</i>	1	0		1
<i>Dendroica pensilvanica</i>	0	1		1
<i>Mniotilta varia</i>	0	1		1
<i>Seiurus aurocapillus</i>	0	1		1
<i>Troglodytes aedon beani</i>		*		
<i>Vireo bairdi</i>	*			
<i>Dumetella carolinensis</i>	*	*		
<i>Melanerpes aurifrons leei</i>	*	*		
<i>Tiaris olivacea intermedia</i>		*		
<i>Wilsonia citrina</i>		*		
<i>Vireo magister</i>	*	*		
Total Cruces	2	6		8

Apéndice 4. Esquema de las distancias calculadas, para los posibles movimientos entre redes. Camino 3 m (A), camino 9 m (B), y camino 19 m (C)

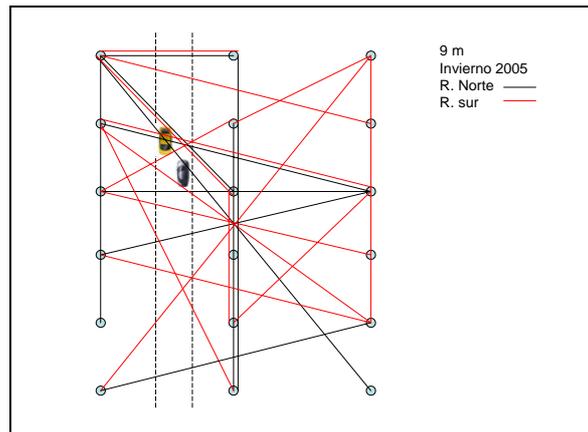
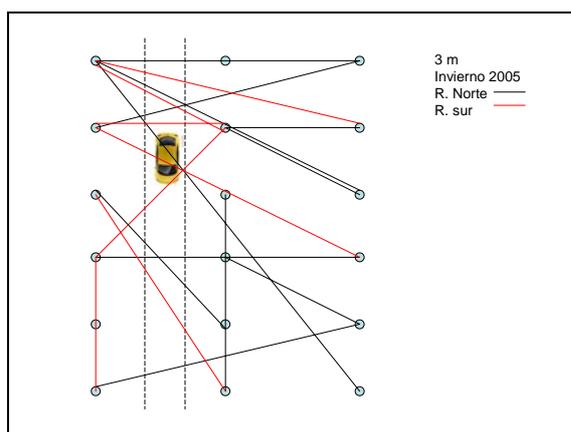


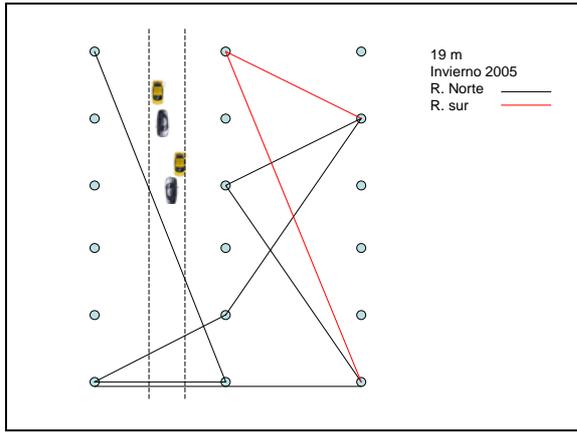
Apéndice 5. Esquema de los movimientos de aves para los muestreos: A) Verano 2004, B) Invierno 2005, C) Verano Pre-Emily 2005, D) Verano Pre-Wilma 2005, E) Invierno 2006

A) Verano 2004

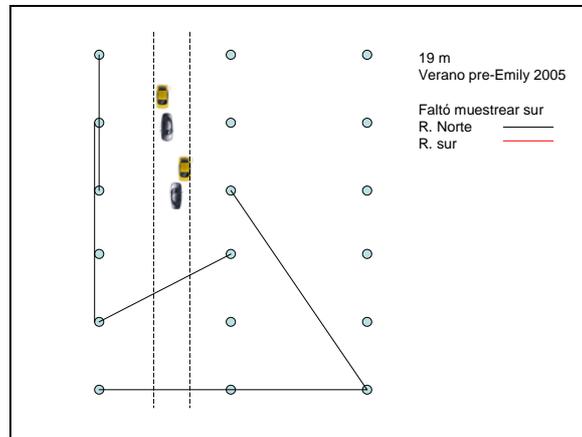
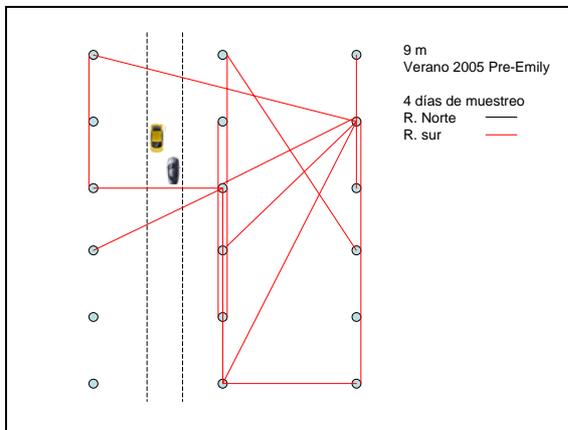


B) Invierno 2005





C) Verano pre-Emily 2005



D) Verano pre-Wilma 2005

