



# EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR

Mecanismos que inciden en los ensambles de vertebrados  
frugívoros de la selva mediana subcaducifolia de isla  
Cozumel

TESIS

presentada como requisito parcial para optar por el grado de  
Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural.

Con orientación en Manejo y Conservación de Recursos Naturales

Por

Thalia Gonzalez Ortega Gamboa

Junio 2019



# El Colegio de la Frontera Sur

San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, \_\_\_\_ de junio de 2019

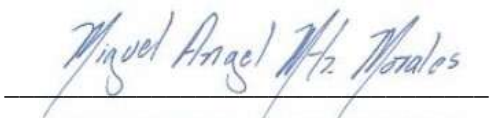

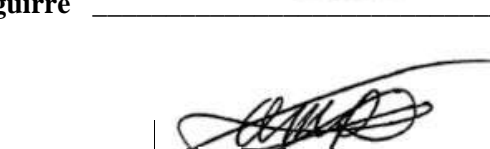

Las personas abajo firmantes, miembros del jurado examinador de:

**Thalia Gonzalez Ortega Gamboa,**

hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada:

***“Mecanismos que inciden en los ensambles de vertebrados frugívoros de la selva mediana subcaducifolia de isla Cozumel”*,**

para obtener el grado de **Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural.**

Nombre	Firma
Director: <b>Dr. Miguel Angel Martínez Morales</b>	
Asesor: <b>Dr. Neptalí Ramírez Marcial</b>	
Asesor: <b>Dr Alejandro Collantes Chávez Costa</b>	
Sinodal adicional: <b>Dra. Martha Angélica Gutiérrez Aguirre</b>	
Sinodal adicional: <b>Dr. Alejandro Morón Ríos</b>	
Sinodal suplente: <b>Dr. Rafael Reyna Hurtado</b>	

*Dedico este trabajo...*

*A mis padres, Manuel y Blanca Verónica que siempre me han apoyado incondicionalmente en todos mis proyectos de vida y en cada paso bueno o malo que doy en la vida. Por motivarme siempre que me invade el miedo y por enseñarme a nunca abandonar mis objetivos por más difícil que sea el escenario.*

*A mis hermanas, Dannaí y Kimberly que siempre me apoyan, me escuchan, me aconsejan y me sacan una sonrisa aún en los peores momentos. Han sido mis mejores amigas siempre.*

*A Carlos y a Jorge porque han sido mis mejores amigos y compañeros de vida, ellos me han compartido y enseñado muchas lecciones de vida.*

*Al señor Eddy por ser de las personas más maravillosas que he conocido, siempre supo cómo hacerme sonreír y entender que los momentos más simples con las personas indicadas pueden hacerte feliz y que muchas veces las situaciones que nos hacen un mal día realmente no tienen la importancia que uno les otorga.*

*A todos los amigos y personas maravillosas que esta experiencia me permitió conocer porque hicieron más ligero mi camino en este proceso lleno de altibajos.*

## **Agradezco...**

Al Colegio de Frontera Sur por creer en mí y darme la oportunidad de continuar mi preparación académica.

A CONACyT por otorgarme la beca que me permitió el financiamiento de esta maestría.

A los integrantes de mi comité tutorial: Dr. Miguel Angel Matínez Morales, Dr. Neptalí Ramírez Marcial y Dr. Alejandro Collantes Chávez Costa por aportar su conocimiento y experiencia al mejoramiento de mi trabajo.

A los integrantes de mi sínodo: Dra. Martha Angélica Gutiérrez Aguirre, Dr. Alejandro Morón Ríos y Dr. Rafael Reyna Hurtado porque siempre mostraron una gran disponibilidad y apoyo durante el proceso de titulación.

Un especial agradecimiento al Dr. Neptalí Ramírez Marcial y a la Dra. Martha Aguirre porque además de ser grandes profesionistas, son grandes humanos. En todo momento me motivaron y ofrecieron su apoyo y amistad.

A Federico Antonioli quien me ayudó en todo momento durante mi trabajo de campo y porque de llegar como voluntario se convirtió en un amigo muy querido.

Tengo que agradecer a muchas personas que durante todo este proceso la vida puso en mi camino y que se convirtieron en buenos compañeros y amigos que de forma directa o indirecta hicieron posible este trabajo.

# ÍNDICE

<b>Resumen</b> .....	<b>1</b>
Palabras clave.....	1
<b>Introducción</b> .....	<b>2-3</b>
<b>Marco teórico. Justificación</b> .....	<b>4-7</b>
<b>Pregunta de investigación</b> .....	<b>7</b>
<b>Supuestos que guían el estudio</b> .....	<b>8</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>8</b>
Objetivo general .....	8
Objetivos particulares.....	8
<b>Metodología</b> .....	<b>9-27</b>
Área de estudio .....	9-11
Especies arbóreas focales .....	11
<i>Manilkara zapota</i> (chicozapote) .....	11
<i>Sideroxylon foetidissimum</i> (caracolillo) .....	12
<i>Vitex gaumeri</i> (ya'axnik) .....	12
<i>Metopium brownei</i> (chechem) .....	13
Parcelas de vegetación .....	13-18
Fototrampeo.....	18-20
Estimación de la abundancia de las especies frugívoras .....	20-21
Riqueza y diversidad de especies arbóreas.....	21
Variables explicativas.....	21-23
Análisis de correspondencias canónicas (CCA) .....	23-26
Análisis de conglomerados .....	27
<b>Resultados</b> .....	<b>28-75</b>
Especies de fauna registradas .....	28-37
Especies leñosas registradas.....	37-42
Variables explicativas de los ensambles de vertebrados frugívoros .....	42-69
Frugivoría y dispersión de semillas .....	70-75

<b>Discusión</b> .....	<b>76-89</b>
Especies arbóreas focales y composición de la comunidad leñosa.....	76-78
Ensamblados de vertebrados frugívoros y las implicaciones de la introducción de especies .....	79-83
Frugivoría y dispersión de semillas .....	83-86
Mecanismos que inciden en los ensamblados de vertebrados frugívoros .....	86-89
<b>Conclusiones</b> .....	<b>90-91</b>
<b>Consideraciones finales</b> .....	<b>92</b>
<b>Literatura citada</b> .....	<b>93-106</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>107-162</b>
Anexo A. Listado de las especies leñosas registradas en la selva mediana subcaducifolia de la isla Cozumel .....	108-110
Anexo B. Valores del IAR en dosel y en sotobosque de todas las especies de vertebrados registradas en la selva mediana subcaducifolia de la isla Cozumel	111-12
Anexo C. Manuscrito sometido a la Revista Mexicana de Biodiversidad derivado de la tesis monográfica .....	113-162

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la isla Cozumel.....	9
Figura 2. Ubicación de las parcelas de vegetación de <i>Manilkara zapota</i> .....	14
Figura 3. Ubicación de las parcelas de vegetación de <i>Sideroxylon foetidissimum</i> .....	15
Figura 4. Ubicación de las parcelas de vegetación de <i>Vitex gaumeri</i> .....	15
Figura 5. Ubicación de las parcelas de vegetación de <i>Metopium brownei</i> .....	16
Figura 6. Índice de abundancia relativa (IAR) de las especies de vertebrados registradas en las especies arbóreas focales.....	33-34
Figura 7. IAR de las especies de vertebrados frugívoros registradas en dosel por especie arbórea focal .....	35
Figura 8. IAR de las especies de vertebrados frugívoros registradas en sotobosque por especie arbórea focal .....	36-37
Figura 9. Número de especies leñosas por familia.....	38
Figura 10. Abundancia de las especies leñosas por familia .....	38
Figura 11. Diagrama de ordenación de todas las especies de vertebrados registradas en función de sus abundancias relativas .....	44
Figura 12. Diagrama de ordenación de todas las especies de vertebrados registradas en función de su presencia .....	46
Figura 13. Diagrama de ordenación de las especies de vertebrados registradas en el sotobosque en función de sus abundancias relativas .....	49
Figura 14. Diagrama de ordenación de las especies de vertebrados registradas en el sotobosque en función de su presencia .....	51
Figura 15. Diagrama de ordenación de todas las especies de vertebrados frugívoros registradas en función de sus abundancias relativas .....	54
Figura 16. Diagrama de ordenación de todas las especies de vertebrados frugívoros registradas en función de su presencia .....	57
Figura 17. Diagrama de ordenación de las especies de vertebrados frugívoros registradas en el dosel en función de sus abundancias relativas.....	60
Figura 18. Diagrama de ordenación de las especies de vertebrados frugívoros registradas en el dosel en función de su presencia.....	63
Figura 19. Diagrama de ordenación de las especies de vertebrados frugívoros registradas en el sotobosque en función de sus abundancias relativas .....	66
Figura 20. Diagrama de ordenación de las especies de vertebrados frugívoros registradas en el sotobosque en función de su presencia .....	69

Figura 21. Dendrograma de similitud en función de la parte de los frutos consumida .....	71
Figura 22. Dendrograma de disimilitud en función de las frecuencias de consumo de los frutos por las especies frugívoras registradas en el dosel .....	74
Figura 23. Dendrograma de disimilitud en función de las frecuencias de consumo de los frutos por las especies frugívoras registradas en el sotobosque .....	75



# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Esfuerzo de muestreo del foto-trampeo .....	20
Tabla 2. Listado de las variables explicativas.....	22-23
Tabla 3. Valores de correlación de las variables explicativas .....	24-26
Tabla 4. Número de registros independientes de fauna registrados .....	28
Tabla 5. Número de registros independientes e IAR de las especies de fauna registradas por foto-trampeo a nivel de dosel y de sotobosque .....	29-31
Tabla 6. Especies de fauna registradas por especie arbórea focal en el dosel y en el sotobosque .....	32
Tabla 7. Abundancia e IVI de las especies leñosas registradas.....	39-42
Tabla 8. Resultados del CCA que incluye todas las especies de vertebrados registradas en función de sus abundancias relativas .....	43
Tabla 9. Resultados del CCA que incluye todas las especies de vertebrados registradas en función de su presencia .....	45
Tabla 10. Resultados del CCA que incluye las especies de vertebrados registradas en el sotobosque en función de sus abundancias relativas .....	48
Tabla 11. Resultados del CCA que incluye las especies de vertebrados registradas en el sotobosque en función de su presencia .....	50
Tabla 12. Resultados del CCA que incluye todas las especies de vertebrados frugívoras registradas en función de sus abundancias relativas .....	53
Tabla 13. Resultados del CCA que incluye todas las especies de vertebrados frugívoras registradas en función de su presencia .....	56
Tabla 14. Resultados del CCA que incluye las especies de vertebrados frugívoras registradas en el dosel en función de sus abundancias relativas.....	59
Tabla 15. Resultados del CCA que incluye las especies de vertebrados frugívoras registradas en el dosel en función de su presencia.....	62
Tabla 16. Resultados del CCA que incluye las especies de vertebrados frugívoras registradas en el sotobosque en función de sus abundancias relativas.....	65
Tabla 17. Resultados del CCA que incluye las especies de vertebrados frugívoras registradas en el sotobosque en función de su presencia.....	68
Tabla 18. Categorización de las especies de vertebrados frugívoras con base en el uso registrado del recurso fruto.....	72
Tabla 19. Períodos de fructificación de las especies arbóreas focales .....	76

## RESUMEN

---

La frugivoría es un proceso ecológico que puede significar una interacción mutualista entre la planta y el consumidor de sus frutos; tiene implicaciones importantes en la estructura, composición y dinámica de las comunidades faunísticas y vegetales. La disponibilidad de frutos varía espacio-temporalmente, es por estas variaciones en los elementos del proceso de frugivoría que resulta relevante entender los principales factores que inciden en éste, pues en muchas ocasiones estos cambios son provocados por el humano. Por ello, el presente trabajo planteó determinar la relación que tienen los ensambles de vertebrados frugívoros con variables relacionadas con la vegetación leñosa de la selva mediana subcaducifolia y con otras variables abióticas y antrópicas en la isla Cozumel; además de identificar a estas especies de vertebrados frugívoros y categorizarlas de acuerdo con la parte del fruto que consumen de las especies arbóreas focales *Manilkara zapota*, *Syderoxylon foetidissimum*, *Vitex gaumeri* y *Metopium brownei*. Para ello se registraron a los vertebrados frugívoros de las cuatro especies arbóreas focales previamente mencionadas mediante foto-trampeo; también se registraron las especies leñosas y sus datos dasométricos presentes en parcelas de vegetación circulares y a los datos obtenidos se aplicaron análisis de correspondencias canónicas; además se realizaron análisis de conglomerados con el fin de categorizar a las especies frugívoras en función del uso que hacen de los frutos. Se concluyó que las variables asociadas con la vegetación leñosa y en segundo lugar aquellas asociadas con disturbio antrópico, inciden de manera más importante en la abundancia y presencia de las especies de vertebrados frugívoros registrados en la selva mediana subcaducifolia de la isla Cozumel y estas mismas especies se categorizaron en cuatro grupos: consumidores de pulpa, consumidores del fruto completo, depredadores de semillas y no definidos.

**Palabras clave:** Dispersión de semillas, frutos, disturbio antrópico, mutualismo, zoocoria, depredación

## INTRODUCCIÓN

---

La frugivoría o consumo de frutos representa tanto el inicio del proceso de dispersión de semillas de plantas endozoócoras como el comienzo de la interacción planta-dispersor (González-Varo et al. 2015). Sin embargo, no siempre que ocurren eventos de frugivoría hay dispersión de semillas. Muchas especies de vertebrados frugívoros consumen únicamente la pulpa y no dispersan las semillas del fruto, mientras que algunas otras destruyen las semillas impidiendo su germinación. Los frugívoros son importantes debido a la interacción mutualista que tienen con las especies vegetales de las cuales consumen sus frutos; el estudio del proceso de frugivoría en el que participan permite entender mejor la función y dinámica que mantienen en el sistema.

La frugivoría es un tema relevante para la ecología y la conservación de la diversidad de flora y fauna que dependen de esta interacción. Se estima que la fauna frugívora participa en la dispersión de las semillas del 80% de las especies leñosas de bosques templados y del 40 al 90% de selvas tropicales (Sekercioglu 2006; Correa-Cortés y Uriarte 2013; Peres et al. 2016). De acuerdo con Jordano (2000), los vertebrados están asociados con el 70 al 94% de la dispersión de semillas de las especies leñosas en el Neotrópico, del 82 al 88% de las especies leñosas australianas y del 80% de las especies leñosas de los bosques lluviosos de África.

A pesar de ello, la pérdida de la diversidad biológica de las especies frugívoras y de muchos otros grupos funcionales es cada vez más acelerada. Esta está relacionada con disturbios antrópicos como la fragmentación de hábitat, el cambio de uso del suelo, invasiones biológicas y el cambio climático (McConkey et al. 2012). Todos estos factores de disturbio dificultan el establecimiento de las poblaciones de plantas zócoras y esto a su vez, disminuye la funcionalidad del ecosistema (Farwig y Berens 2012; Caughlin et al. 2016). En particular, la destrucción y fragmentación de hábitat son grandes amenazas para la diversidad biológica pues cambian la abundancia, composición y estructura de las comunidades vegetales con frutos,

modificando los patrones de movimiento y dinámica poblacional de la fauna que depende de esos frutos (Uriarte et al. 2011; Dirzo et al. 2014).

El presente trabajo analiza la influencia de variables bióticas y abióticas en el proceso de frugivoría mediante el análisis de su efecto en la presencia y abundancia de especies de vertebrados frugívoros de un sistema insular. Los sistemas insulares son pequeñas superficies naturales de tierra que constituyen el hábitat de especies propias que se han establecido, adaptado y evolucionado. Son de gran importancia por su riqueza de especies y endemismos, así como para la conservación de la diversidad biológica, pero también porque constituyen hábitats importantes para la alimentación, reproducción y refugio de muchas especies (Aguirre-Muñoz et al. 2010).

El sistema insular en el que se desarrolló este estudio fue la isla Cozumel. Cozumel es de particular interés debido a su alto grado de endemismos; se ha estimado que posee más de 30 taxa de vertebrados endémicos entre especies y subespecies (Martínez-Morales 1996; González-Baca 2006). En Cozumel existen 17 taxa de mamíferos no voladores de los cuales siete son taxa endémicos (tres especies y cuatro subespecies), lo que la hace una de las islas con más endemismos (González-Baca 2006, Cuarón et al. 2009).

Por otra parte, se reportan hasta 224 especies de aves en la isla (González-Baca 2006) entre migratorias y residentes, de las cuales cuatro son especies endémicas y 15 subespecies endémicas (Martínez-Morales 1996).

Cozumel enfrenta diversos factores adversos antrópicos y naturales que amenazan su diversidad biológica. Por ejemplo, hasta el año 2000, aproximadamente el 89% de la isla estaba cubierta por vegetación nativa, la mayor parte de ella de manera continua (Romero- Nájera 2004); sin embargo, la construcción y ampliación de caminos en la isla están causando la destrucción y disturbio de la vegetación nativa. Los caminos son un factor de disturbio que impide o limita el movimiento de la fauna. Tal es el caso de la carretera transversal de la isla, la cual es una carretera amplia con considerable flujo vehicular y que ha contribuido a la fragmentación de la isla en dos segmentos (Cuarón et al. 2009).

## MARCO TEÓRICO

### JUSTIFICACIÓN

---

El término frugivoría se refiere al proceso en el que los animales consumen frutos, cualquiera que sea el grado de consumo: que se coma sólo la pulpa, el fruto entero, se destruyan las semillas o se dejen intactas (Caziani 1996). La dispersión de semillas se define como la remoción y deposición de semillas en un sitio diferente a donde se encuentra la planta parental, y puede representar un proceso posterior a la frugivoría en el caso de que el animal consuma el fruto completo y sus semillas queden intactas al momento de dispersarlas. En el caso de que las semillas sean destruidas por el animal frugívoro, se le considera depredación (Hernández-Jaramillo *et al.* 2012; Perea 2012). Existen diversos mecanismos de dispersión de semillas: zoocoria, anemocoria, hidrocoria, barocoria, autocoria. Los cuales no son excluyentes uno del otro ya que en una especie vegetal pueden estar presentes diferentes mecanismos de dispersión que favorezcan la diseminación de sus propágulos.

La frugivoría puede ser un tipo de interacción mutualista. Las especies de flora que poseen frutos zócoros necesitan agentes dispersores que les permitan mover sus semillas a través de ambientes inhóspitos y propiciar su flujo genético (Jordano 2007, Mueller *et al.* 2014, Troillet *et al.* 2017). A su vez, la fauna dispersora obtiene grandes recompensas energéticas y nutritivas al ingerir la pulpa carnosa de los frutos que consumen (Jordano 2007).

Los atributos que presentan los frutos que son consumidos por vertebrados son una parte carnosa en forma de arilos, pericarpios o pulpas que derivan del ovario floral. El agente dispersor de una determinada especie vegetal está definido por el color, tamaño y tipo de fruto, su número de semillas y el tamaño de estas, su olor, agregación, dehiscencia, posición y la cantidad y calidad de carbohidratos, lípidos o proteínas que contienen (Van der Pijl 1972, Howe y Smallwood 1982, Fleming *et al.* 1993, Orozco 1999, Jordano 2000).

En el caso particular de la ornitocoria, los frutos poseen características que los hacen atractivos para las aves. Sus características consisten en frutos coloridos

(preferentemente colores que contrastan con el medio y los hacen llamativos), que sean carnosos, tamaño pequeño, una exotesta que proteja al embrión de la digestión, y buena cantidad de aceites. El olor no es indispensable (Van der Pijl 1972). En lo que respecta a los mamíferos, éstos consumen preferentemente frutos de especies de árboles y arbustos que desprenden olor, caen al suelo cuando maduran, son grandes, contienen muchas semillas al igual que pulpa, son ricos en agua y azúcares, pero pobres en lípidos y proteínas (González-Varo *et al.* 2015). Se tiene muy poco conocimiento respecto a las características que poseen los frutos dispersados por reptiles; sin embargo, Van der Pijl (1972) señala que posiblemente los frutos dispersados por reptiles poseen olor, son coloridos y por lo general nacen cerca del suelo o son depositados sobre el suelo cuando han madurado. El que los frutos posean una cubierta dura no significa impedimento para ser consumidos por ellos (Heleno *et al.* 2011).

Las aves frugívoras son consideradas entre los vertebrados dispersores de semillas más importantes para las especies leñosas en ecosistemas templados y tropicales (Jordano 2000; Sekercioglu 2006) debido a que son capaces de moverse distancias considerables y promover la conectividad entre parches en paisajes fragmentados, principalmente porque pueden transportar semillas de especies vegetales desde ambientes conservados a parches degradados (García 2014). Si bien las aves son capaces de dispersar semillas a una mayor distancia, éstas dependen mucho de la morfología del fruto o de las semillas para ingerirlos, pues su ingestión se ve limitada por el tamaño y forma del fruto. Asimismo, muchas especies de aves son migratorias y el consumo de determinadas especies de frutos está en función de la disponibilidad y fenología de la especie vegetal (González-Varo *et al.* 2015).

Los mamíferos frugívoros y omnívoros poseen rasgos que los hacen importantes dispersores de semillas. González-Varo y colaboradores (2015) describen tres rasgos que hacen de los mamíferos frugívoros legítimos e importantes dispersores de semillas, rasgos que no comparten con las aves. Éstos pueden consumir frutos de las distintas especies endozoócoras de la comunidad vegetal a lo largo de todo el año, a diferencia de las aves frugívoras migratorias; también son capaces de consumir frutos de una gran variedad de formas y tamaños, a diferencia de la mayor

parte de las aves frugívoras, y generalmente no descartan ni dañan las semillas durante la ingesta y digestión de los frutos. Estos tres rasgos hacen que los mamíferos frugívoros y omnívoros sean dispersores de semillas de especies endozócoras muy relevantes (González-Varo et al. 2015).

La disponibilidad de frutos en los bosques tropicales varía en el espacio y en el tiempo tanto cuantitativa como cualitativamente y está en función de las especies vegetales que componen el sistema. Asimismo, la composición del ensamble de frugívoros dispersores de semillas y su dieta muestran variaciones espacio-temporales, lo que resulta en cambios en los patrones de dispersión (por ejemplo, la diversidad de especies de semillas dispersadas y los dispersores asociados). Los patrones espaciales de deposición de semillas están influenciados por la morfología de las especies dispersoras y su comportamiento de forrajeo. El comportamiento de alimentación y los patrones de distribución de éstas varía en el espacio en función de la densidad y distribución espacial de las especies vegetales con frutos (Ratnarison y Forget 2011).

Es por estas variaciones espacio-temporales en los elementos que integran el proceso de frugivoría que resulta relevante entender los principales factores que inciden en dicho proceso. Estudios previos han enfatizado la importancia de estudiar el proceso de frugivoría y la posterior dispersión de semillas con un enfoque espacial. Rey (1995) menciona que las especies de frugívoros dispersores estudiadas a un nivel local pueden estar siendo afectadas por la disponibilidad de recursos a una escala espacial más amplia.

Mucha de esta variación espacio-temporal está dada por disturbios de origen humano, lo que provoca cambios en la estructura y dinámica de las comunidades faunísticas y vegetales, y por lo tanto en su interacción.

Un disturbio es cualquier evento relativamente discreto en el tiempo que trastorna la estructura de una población, comunidad o ecosistema y cambia los recursos, la disponibilidad de sustrato o el ambiente físico (Pickett y White 1985). Se considera que actualmente, la pérdida de diversidad biológica y la funcionalidad de los ecosistemas son algunas de las principales consecuencias de disturbios antrópicos

tales como la deforestación, el cambio de uso del suelo, la contaminación, los incendios o la introducción de especies exóticas.

En este estudio se planteó analizar cómo factores ambientales naturales y antrópicos inciden en los ensambles de vertebrados frugívoros de la selva mediana subcaducifolia de la isla Cozumel.

Son diversos los estudios biológicos relacionados con vertebrados (Martínez-Morales 1996, López-González et al. 1997, Cuarón et al. 2004, Romero 2004, González-Baca 2006, Perdomo 2006, Cuarón et al. 2009) y vegetación (Téllez et al. 1987, Téllez et al. 1989, Patiño 2008) que se han realizado en la isla Cozumel; sin embargo, en ninguno de ellos se ha abordado el tema de la fauna frugívora y la vegetación de una manera integral, ni desde un punto de vista de un ensamble funcional.

Es así como cobra importancia el desarrollo de investigaciones como la presente que contribuyan a entender procesos ecológicos como la frugivoría y las variables que pueden incidir en la presencia y abundancia de las especies de este grupo funcional. También resulta de gran interés e importancia el estudio de estos procesos ecológicos en sistemas únicos y frágiles como es el caso de las islas con una diversidad biológica muy particular. Son muchas las implicaciones que tienen estos procesos para la conservación de la diversidad biológica de la flora y la fauna, cuyos patrones ocurren generalmente en paisajes antropizados.

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

---

¿Cuáles son los principales mecanismos que inciden en los ensambles de vertebrados frugívoros presentes en la selva mediana subcaducifolia de isla Cozumel?



## SUPUESTOS QUE GUÍAN EL ESTUDIO

---

Debido a que la estructura de la vegetación arbórea y la disponibilidad de sus frutos pueden ser variables que inciden en la composición y estructura de los ensambles de vertebrados frugívoros, se espera que en paisajes con un menor grado de disturbio antrópico y una estructura de la vegetación arbórea madura, contengan ensambles más complejos de vertebrados frugívoros; en contraste con paisajes con una estructura más secundaria de la vegetación arbórea y un mayor grado de disturbio antrópico.

## OBJETIVOS

---

### **Objetivo general:**

Determinar la relación que tienen los ensambles de vertebrados frugívoros con variables de la vegetación arbórea de la selva mediana subcaducifolia y con otras variables bióticas, abióticas y antrópicas en un sistema insular.

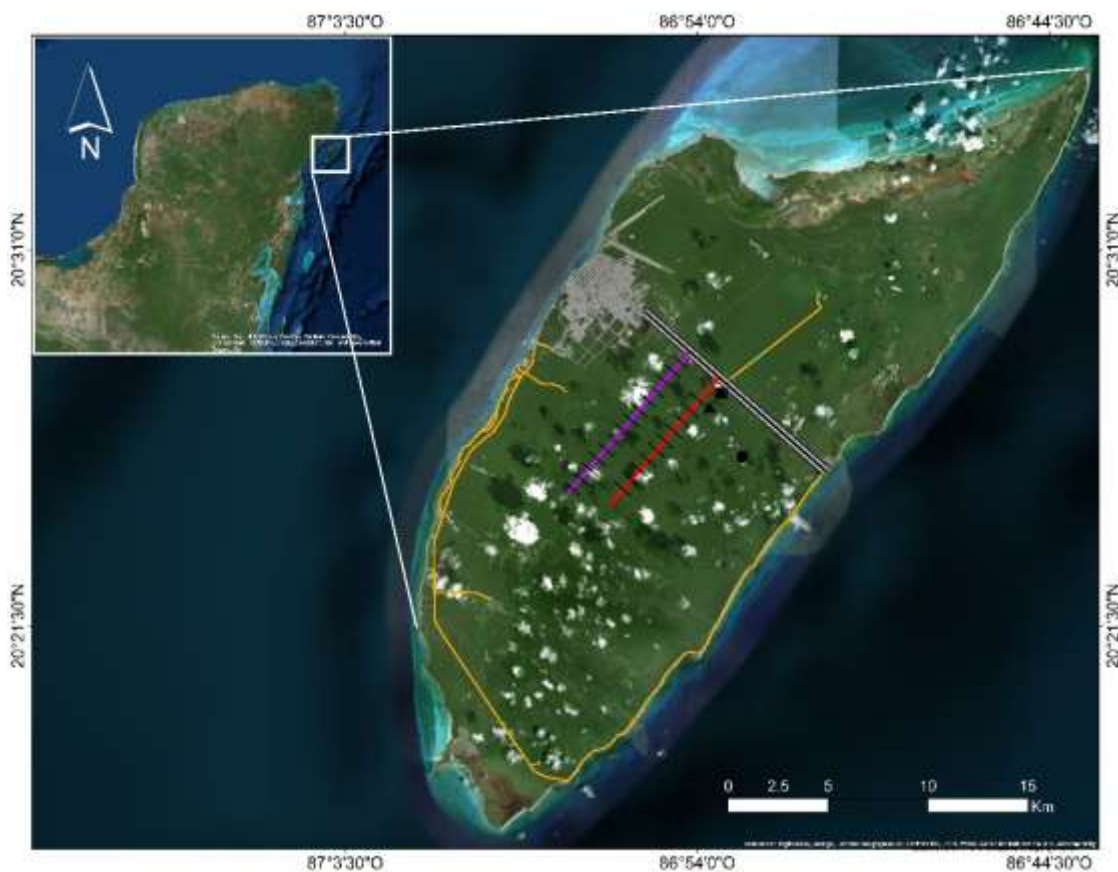
### **Objetivos particulares:**

1. Identificar las especies de vertebrados frugívoros y categorizarlas de acuerdo con la parte del fruto que consumen de las especies arbóreas *Manilkara zapota*, *Syderoxylon foetidissimum*, *Vitex gaumeri* y *Metopium brownei* de la selva mediana subcaducifolia de la isla Cozumel.
2. Relacionar la presencia y la abundancia de las especies de vertebrados frugívoros con la composición y estructura de la vegetación arbórea, otras variables ambientales y disturbios antrópicos.

## METODOLOGÍA

### Área de estudio

La isla Cozumel (**figura 1**) se encuentra en la parte noreste de la costa de la península de Yucatán en el Caribe mexicano. La superficie de la isla es de casi 480 km<sup>2</sup> (Romero 2004). Se encuentra a 17.5 km de distancia de la península de Yucatán y está separada por el canal de Cozumel, el cual tiene una profundidad de aproximadamente 300 m (Cuarón et al. 2004).



**Figura 1.** Ubicación geográfica de la isla Cozumel en el mar Caribe, al este de la península de Yucatán. Se señalan el sitio de muestreo (línea roja), el eje de captación de agua contiguo (línea morada) al sitio de muestreo, la carretera transversal (tres líneas negras paralelas sobre fondo gris), la carretera perimetral (línea continua amarilla), ciudad de San Miguel (polígono gris), una zona de extracción de material pétreo (círculo negro), una pequeña casa (triángulo negro) y un rancho (cuadrado negro), estos tres últimos aledaños al sitio de muestreo.

La principal fuente de agua dulce de la isla proviene de un sistema subterráneo de agua (Mejía-Ortiz et al. 2007). El clima que presenta Cozumel es cálido húmedo con lluvias en verano. En verano, se presenta un período de sequía intraestival o canícula. Durante el verano ocurre una disminución de la presión atmosférica en el mar Caribe y Atlántico Oriental, lo que genera huracanes. A finales del verano, la zona está altamente influenciada por los frentes fríos, algunos de los cuales depositan una cantidad importante de lluvia invernal (Orellana et al. 2007). La precipitación promedio anual es de poco más de 1 600 mm (Romero 2004); los meses más secos son marzo y abril, y septiembre es el mes con mayor cantidad de lluvia (Orellana et al. 2007).

Los principales tipos de vegetación de la isla son: selva mediana subcaducifolia, selva baja subcaducifolia, manglar, tular, vegetación de dunas costeras y tasistal (Téllez et al. 1989).

En 2004, la selva mediana subcaducifolia ocupaba un área de 310 km<sup>2</sup> (Romero 2004). La selva mediana subcaducifolia de la isla Cozumel corresponde a la región florística Caribeña y provincia florística de la Península de Yucatán. Se considera que posee afinidades florísticas con las provincias de la costa del Pacífico y de la costa del Golfo de México, pero principalmente con la provincia de Las Antillas (Rzedowski 2006).

La isla Cozumel posee una principal vía de transporte, la carretera perimetral que rodea a la isla por completo a partir de la cual deriva la carretera transversal, la cual atraviesa a la isla y la divide en dos porciones. La carretera transversal se origina a partir de la carretera perimetral de la isla y comprende del km 30+000 al km 44+000; es decir, tiene una longitud de 14 km por 20 m de ancho. Es una carretera tipo A2 de dos carriles (Secretaría de Comunicaciones y Transporte 1991, 2007).

El sitio en donde se desarrolló el presente estudio es en uno de los cinco ejes de la zona de captación de agua de la isla de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA) del Gobierno de Quintana Roo, los cuales parten perpendicularmente de la carretera transversal (**figura 1**). Tres de ellos se extienden hacia la parte norte de la isla y los otros dos en dirección sur. Se trabajó en uno de los ejes de captación que se extienden en dirección sur de la isla.

Los principales criterios para elegir este eje fueron que se ubica en un área con cobertura vegetal relativamente homogénea de selva mediana subcaducifolia y que parte de la carretera transversal, lo que facilitaría evaluar el posible efecto de la carretera sobre la comunidad de frugívoros. Es el eje de captación que se encuentra más alejado del principal asentamiento urbano y por tanto de los efectos de disturbio antrópico que ahí se generan.

Este eje de captación es atravesado perpendicularmente por 11 ejes secundarios. Entre cada eje secundario existe una separación de aproximadamente 600 m, con excepción del primero y segundo (a partir de la carretera) donde es de 900 m. En algunos de los ejes secundarios hay bombas en funcionamiento para la extracción de agua de los pozos; en consecuencia, estos ejes secundarios están continuamente en mantenimiento.

### **Especies arbóreas focales**

Los criterios de selección para las especies arbóreas focales fueron tres: (1) especies de dosel de la selva mediana subcaducifolia, (2) especies con frutos que presenten el síndrome de dispersión por zoocoria y (3) especies que estuvieran en fructificación durante los meses en el que se realizó el trabajo de campo. Con base en estos criterios, se consideraron como especies arbóreas focales a *Manilkara zapota*, *Sideroxylon foetidissimum*, *Vitex gaumeri* y *Metopium brownei*, y se seleccionaron los individuos con un DAP  $\geq 10$  cm y en fructificación para el muestreo de los ensambles de frugívoros.

### ***Manilkara zapota* (chicozapote)**

Es una especie de la familia Sapotaceae. Los individuos de *Manilkara zapota* alcanzan alturas de 40 m y DAP de hasta 1.5 m. Produce bayas de 10 cm de diámetro con el cáliz y el estilo persistente; poseen una cáscara morena y áspera. Presentan un endocarpio carnoso y jugoso, muy dulce. En su interior contiene 5 semillas aplastadas de 16-23 mm de longitud y 8-16 mm de ancho, negras brillantes y con un hilo blanco conspicuo en su borde. Los frutos tienen cierta cantidad de

látex en su interior (Pennington y Sarukhan 2005). Maduran durante los meses de diciembre a abril (Herbario CICY 2010). De acuerdo con las observaciones hechas en campo, el período de fructificación en la isla fue de enero a mayo.

La especie se distribuye ampliamente en el país, desde San Luis Potosí y el norte de Veracruz hasta el norte de Chiapas y la selva Lacandona; en la Península de Yucatán y en el Istmo de Tehuantepec. Es una especie codominante de las selvas altas perennifolias y medianas subperennifolias. Su madera es muy dura y resistente pero debido a que es una especie protegida, no es aprovechada. En la actualidad, los principales productos del chicozapote son el látex y la fruta (Pennington y Sarukhan 2005).

### ***Sideroxylon foetidissimum* (caracolillo)**

Es una especie de la familia Sapotaceae. Alcanza una altura de hasta 25 m y DAP de 1.5 m. Posee frutos en forma de bayas de color amarillo (Little et al. 2001). Fructifica durante el mes de marzo (Herbario CICY 2010). De acuerdo con las observaciones hechas en campo, el período de fructificación en la isla fue de febrero a abril.

Existe muy poca información sobre esta subespecie. Se distribuye en el sureste de México, principalmente en la península de Yucatán (Herbario CICY 2010). Su madera es muy apreciada para la construcción debido a su gran dureza, resistencia y durabilidad (Erosa-Rejón et al. 2010). Las hojas y los frutos son consumidos por el ganado y su látex es utilizado con fines medicinales. Es considerada una especie melífera (Little et al. 2001).

### ***Vitex gaumeri* (ya'axnik)**

Es una especie que pertenece a la familia Lamiaceae que puede llegar a medir hasta 30 m de altura y DAP de hasta 80 cm. Sus frutos corresponden a drupas de 2 cm de diámetro, globosas, verde oscuras y brillantes. Contienen una estructura muy dura de 1 cm de diámetro que contiene cuatro semillas ligeramente aplanadas (Pennington y Sarukhan 2005). Fructifica de julio a diciembre (Herbario CICY 2010).

De acuerdo con las observaciones hechas en campo, el período de fructificación en la isla fue de mayo a septiembre.

Es una especie restringida a la vertiente del Golfo desde el extremo este de Tabasco y la selva Lacandona, en la rívera del Suchiate, hasta la península de Yucatán, formando parte del estrato superior de las selvas medianas subperennifolias y subcaducifolias, o en suelos más profundos en la selva baja caducifolia. Se distribuye en altitudes menores de 500 m y en suelos derivados de materiales calizos, someros y con buen drenaje superficial. Su madera no presenta ningún uso aparente ya que se quiebra con gran facilidad (Pennington y Sarukhan 2005).

### ***Metopium brownei* (chechem)**

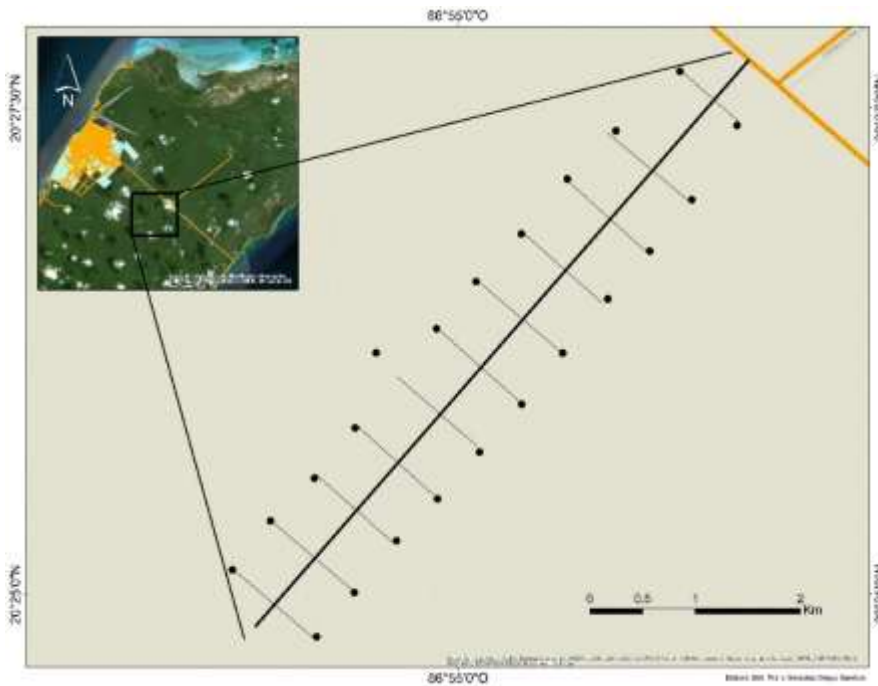
Árbol de la familia Anacardiaceae de hasta 25 m de altura y DAP de 60 cm. Sus frutos son bayas en infrutescencias pendulares de 1 cm de largo. Son frutos ovoides, carnosos, amarillentos o anaranjados oscuros, glabros y contienen una semilla ovoide de 7-8 mm de largo (Pennington y Sarukhan 2005). Presenta dos períodos de fructificación al año: el primero se presenta de marzo a agosto y el segundo de octubre a noviembre (Herbario CICY 2010). De acuerdo con las observaciones hechas en campo, el período de fructificación en la isla fue de mayo a octubre.

Se distribuye en la vertiente del Golfo de México hasta la península de Yucatán, en el norte de Chiapas y la selva Lacandona. Es una especie abundante en el estrato medio y superior de selvas medianas subperennifolias y subcaducifolias, crece sobre suelos someros de buen drenaje superficial como suelos arcillosos. Su madera es utilizada para la fabricación de chapas, duelas y pisos (Pennington y Sarukhan 2005).

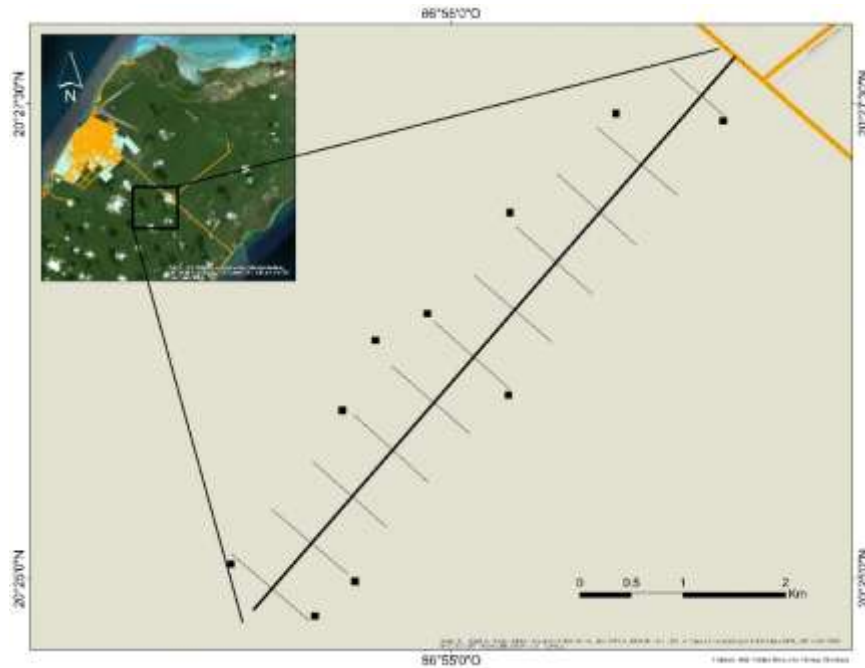
### **Parcelas de vegetación**

Al final de los ejes secundarios se ubicaron parcelas circulares de vegetación con un radio de 15 m (0.07 ha). La ubicación del árbol focal se consideró el centro de cada parcela y se georreferenció su ubicación con la ayuda de un equipo GPS

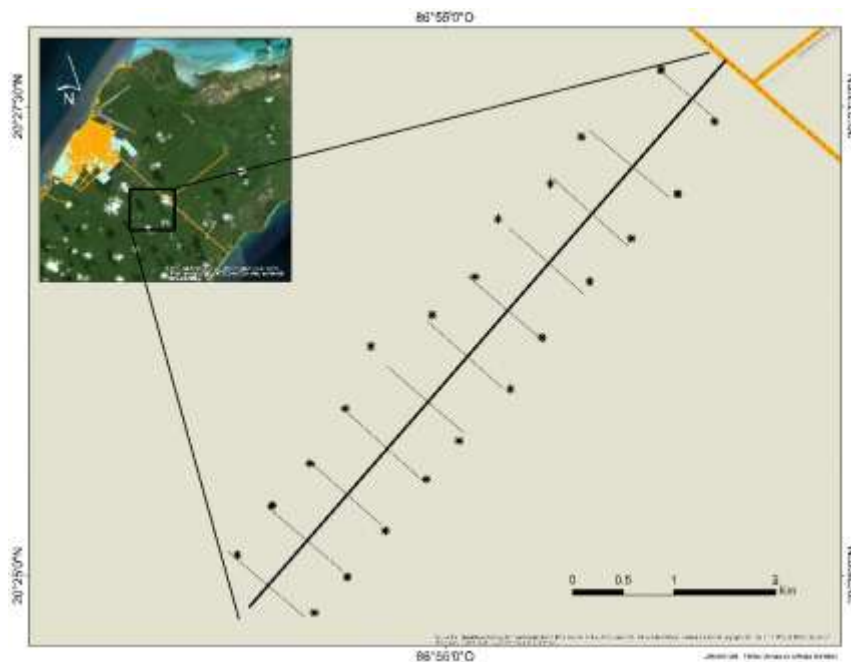
Garmin modelo e-Trex 10. En total se establecieron 60 parcelas circulares de vegetación (**figuras 2, 3, 4 y 5**), las cuales conformaron una superficie total de 4.24 ha.



**Figura 2.** Ubicación de las parcelas de vegetación de la especie focal *Manilkara zapota* (círculos) sobre los 11 ejes secundarios del eje de captación de agua en la selva mediana subcaducifolia de isla Cozumel.

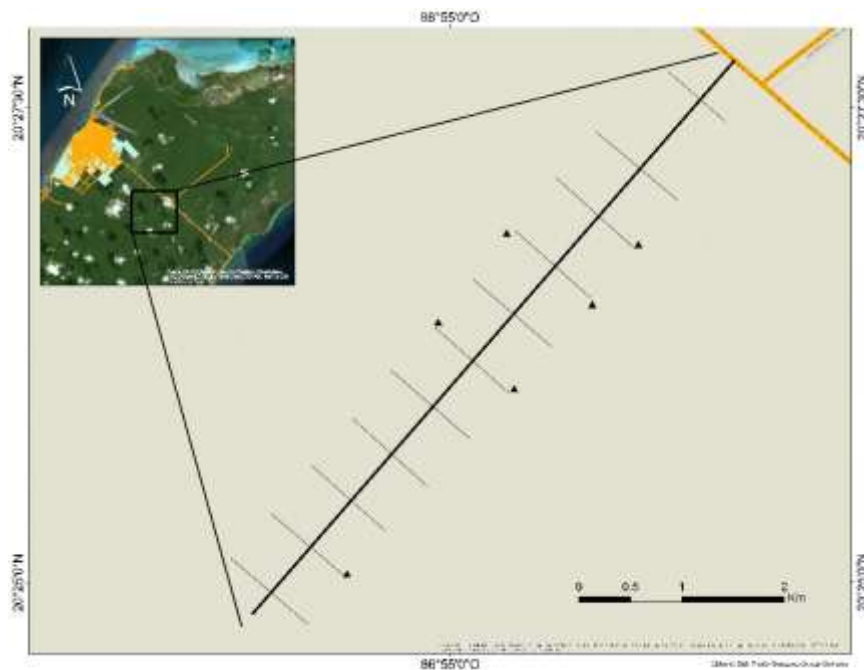


**Figura 3.** Ubicación de las parcelas de vegetación de la especie focal *Sideroxylon foetidissimum* (cuadrados) sobre los ejes secundarios del eje de captación de agua en la selva mediana subcaducifolia de isla Cozumel.



**Figura 4.** Ubicación de las parcelas de vegetación de la especie focal *Vitex gaumeri* (asteriscos) sobre los 11 ejes secundarios del eje de captación de agua en la selva mediana subcaducifolia de isla Cozumel.





**Figura 5.** Ubicación de las parcelas de vegetación de la especie focal *Metopium brownei* (triángulos) sobre los ejes secundarios del eje de captación de agua en la selva mediana subcaducifolia de isla Cozumel.

Se registraron los individuos arbóreos presentes dentro de las parcelas, su estado fenológico y dos datos dasométricos: diámetro a nivel del pecho (DAP) y altura. Para fines de este estudio, consideramos la siguiente definición de árbol: una planta de tallo leñoso con una altura mínima de tres a seis metros. Los tallos se conocen con el nombre de troncos, los cuales pueden ramificarse desde el suelo o hasta una altura considerable de éste. Se considera árbol cuando una planta tiene un solo tronco o eje principal, y una copa bien definida por tallos secundarios o ramas (Vélez 2010); sin embargo, algunas especies arbóreas tropicales poseen más de un tronco o eje principal (Patiño 2008; FAO 2004). Para determinar la estructura de la comunidad arbórea se consideraron los árboles reproductivamente maduros y se asumió que los árboles con un  $DAP \geq 10$  cm lo fueron (Trolliet et al. 2017).

En los árboles policaulescentes cuyas ramas se originan por debajo de 1.30 m se tomó la circunferencia de todos los troncos vivos. Cuando se presentaron casos

particulares en la medición del DAP debido a la morfología o posición del individuo, se recurrió a las técnicas sugeridas por la FAO (2004).

Los valores del DAP y del área basal se utilizaron para la estimación de la dominancia y densidad relativas y absolutas de cada una de las especies arbóreas registradas en cada una de las parcelas de muestreo. El área basal (AB) corresponde a la superficie de la sección transversal del árbol. Se calculó mediante la fórmula:

$$AB = \frac{\pi}{4} \times DAP^2$$

Los valores de dominancia y densidad relativas permitieron el cálculo del índice de valor de importancia (IVI). Las fórmulas que se utilizaron fueron las aplicadas por Zarco-Espinosa y colaboradores (2010).

*Dominancia:*

Representa la importancia de una especie en función de su desarrollo o biomasa (Hernández et al. 2000).

$$\text{Dominancia absoluta} = \frac{\text{Área basal de una especie}}{\text{Área muestreada}}$$

$$\text{Dominancia relativa} = \frac{\text{Dominancia absoluta por especie}}{\text{Dominancia absoluta de todas las especies}} \times 100$$

*Densidad:*

Es el número de individuos en un área determinada (Mostacedo y Fredericksen 2000; Zarco-Espinosa et al. 2010).

$$\text{Densidad absoluta} = \frac{\text{Número de individuos de una especie}}{\text{Área muestreada}}$$

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Densidad absoluta por cada especie}}{\text{Densidad absoluta de todas las especies}} \times 100$$

### *Índice de valor de importancia (IVI):*

Indica la importancia ecológica relativa de las especies de plantas en una comunidad (Soler et al. 2012).

$$IVI = \text{Dominancia relativa} + \text{Densidad relativa}$$

Para la identificación de las especies leñosas se contó con el apoyo en campo de un guía con conocimiento de las plantas y sus nombres en maya, el botánico Edilberto Ucan Ek con experiencia en taxonomía de la flora del sureste de México, Belice y Guatemala, y que ha trabajado para los herbarios del CICY, MEXU, UADY, Michigan University y de la Escuela de Agricultura de la ciudad de Guatemala. Asimismo, se fotografiaron todas las especies leñosas presentes que sirvió como referencia para su identificación.

Con los nombres mayas de las especies se hicieron referencias cruzadas con diversos listados florísticos de la región (Cabrera-Cano et al. 1982, Téllez-Valdés et al. 1987, Téllez-Valdés et al. 1989, Ibarra-Manríquez et al. 1995, Vester et al. 2007, Patiño 2008, SEMARNAT 2009, Duno de Stefano et al. 2018).

Para la identificación de los individuos arbóreos que no fue posible reconocer en campo se colectó una muestra botánica.

Se elaboró un listado de las especies arbóreas registradas (**apéndice A**). La estandarización de los nombres científicos se realizó mediante la consulta en los portales de The Plant List ([www.theplantlist.org](http://www.theplantlist.org)) y Missouri Botanical Garden ([www.tropicos.org](http://www.tropicos.org)).

### **Foto-trampeo**

El foto-trampeo se llevó a cabo de enero a noviembre de 2018 para el registro de especies de vertebrados frugívoros que hacen uso de los frutos de *Manilkara zapota*, *Sideroxylon foetidissimum*, *Vitex gaumeri* y *Metopium brownei* a nivel de dosel y de sotobosque. Se utilizaron 46 trampas-cámara marca Cuddeback modelo E3; todas fueron programadas para estar activas de manera continua y con un

período de espera de un minuto entre una activación y otra. La posición de cada una de las trampas-cámara fue georreferenciada con un dispositivo GPS marca Garmin, modelo e-Trex 10. Una vez ubicadas en cada parcela, ambas cámaras se revisaron cada 15 días.

Las cámaras fueron colocadas y puestas en funcionamiento de acuerdo con la temporada de fructificación de cada especie; es decir, en el momento en que se observaron los individuos con frutos.

En el caso de los individuos focales de *Manilkara zapota* y *Vitex gaumeri* se ubicaron 22 individuos; mientras que para *Sideroxylon foetidissimum* y *Metopium brownei* se localizaron 10 y 6 individuos focales respectivamente. Los individuos focales de *Manilkara zapota* se monitorearon durante los meses de enero a abril, los de *Sideroxylon foetidissimum* de marzo a julio, los de *Vitex gaumeri* de mayo a octubre y los de *Metopium brownei* de agosto a noviembre.

Las trampas-cámara de dosel se colocaron sobre ramas seleccionadas de tal manera que su posición permitiera dirigir la cámara hacia cúmulos de frutos y capturar las especies que se alimentaban de ellos. Las trampas-cámara de sotobosque se colocaron en el tronco de un árbol a una altura de 40 a 50 cm del suelo, de tal manera que enfocara un área del suelo con frutos caídos del árbol focal.

Las cámaras ubicadas en el dosel se programaron para la grabación de videos de 20 seg., mientras que las colocadas en el sotobosque grabaron videos de 30 seg. Las cámaras fueron programadas de esa manera con el objetivo de optimizar el uso de las baterías y dispositivos de almacenamiento, ya que las cámaras de dosel se solían activar con el movimiento del follaje, por ello se decidió programarlas con una menor duración de video. El esfuerzo de muestreo por especie arbórea focal (**tabla 1**) se calculó multiplicando el número total de cámaras activas en cada especie focal por el número total de días que estuvieron activas (Medellín et al. 2006; Lira-Torres et al. 2014, Hernández-Pérez et al. 2015).

**Tabla 1.** Esfuerzo de muestreo (días-cámara) del foto-trampeo por especie arbórea focal.

Especie	Parcelas	Cámaras	Días de actividad	Esfuerzo de muestreo
<i>Manilkara zapota</i>	22	44	1 607	3 214
<i>Sideroxylon foetidissimum</i>	10	20	645	1 290
<i>Vitex gaumeri</i>	22	44	1 747	3 494
<i>Metopium brownei</i>	6	12	368	736

Los criterios establecidos para considerar los registros como independientes fueron: (1) videos consecutivos donde se pudiese identificar a los individuos como diferentes; (2) videos de una misma especie con una separación de al menos 7 días; (3) en los videos donde se registraron varios individuos de la misma especie, cada individuo fue considerado como un evento independiente de frugivoría, y (4) registros correspondientes a distintas parcelas.

### **Estimación de la abundancia de las especies frugívoras**

Para calcular el índice de abundancia relativa (IAR) de las especies frugívoras detectadas (**apéndice B**), se utilizaron los registros independientes de las especies de fauna presentes en cada parcela.

La fórmula empleada en el cálculo del IAR fue modificada a partir de la utilizada en los estudios de Lira-Torres y colaboradores (2014) y Hernández-Pérez y colaboradores (2015):

$$IAR = (C / \log_{10} EM) * 10$$

Donde:

C = número de registros independientes

EM= esfuerzo de muestreo (días-cámara)

Al esfuerzo de muestreo se le aplicó el logaritmo base 10 ya que la relación entre el IAR y el esfuerzo de muestreo no necesariamente es lineal y se magnifica cuando existen diferencias grandes de esfuerzo de muestreo entre las especies arbóreas focales.

### **Riqueza y diversidad de especies arbóreas**

Se estimó la abundancia de cada una de las especies leñosas por parcela de muestreo y con ello se elaboró una matriz con la que se calcularon los índices y estimadores de diversidad por parcela. Se calcularon los números de Hill con el fin de calcular la riqueza y diversidad de especies arbóreas en cada parcela.

Los números de Hill o número efectivo de especies calcula el número máximo posible de especies que podrían coexistir en una comunidad, si todas las especies tuvieran la misma abundancia (Rodríguez-Sánchez et al. 2018). Se expresan como  $q=0$ ,  $q=1$  y  $q=2$ .  $q=0$  es equivalente a la riqueza de especies;  $q=1$ , representa el exponencial del índice de Shannon y  $q=2$ , se refiere al inverso del índice de Simpson (Hsieh et al. 2016).

### **VARIABLES EXPLICATIVAS**

Las variables explicativas que se consideraron inicialmente en este estudio fueron 71 (**tabla 2**); 13 de ellas correspondían a variables abióticas y de disturbio antrópico, mientras que las restantes pertenecían a los valores del IVI de las 58 especies leñosas registradas. Sin embargo, se realizaron varias depuraciones con el fin de considerar únicamente aquellas que realmente podrían tener un mayor valor explicativo para la variabilidad observada en los ensambles de vertebrados frugívoros.

La primera depuración de variables se hizo mediante la aplicación de pruebas de correlación a 13 de las variables que se sospechaba que podrían estar correlacionadas. La correlación entre estas variables explicativas se evaluó con las pruebas de correlación paramétrica de Pearson y las no paramétricas de Spearman

y Tau b de Kendall en el programa IBM SPSS Statistics versión 21. De las 13 variables, se seleccionaron nueve (correlación < 0.80; **tabla 3**): cantidad de roca expuesta en suelo, cantidad de materia orgánica, distancia de las parcelas a la carretera transversal, distancia de las parcelas al borde de la selva, distancia de las parcelas al eje de captación de agua contiguo, funcionamiento y mantenimiento de las bombas de agua, frecuencia de individuos policaulescentes, la riqueza de especies leñosas y el inverso del índice de Simpson de la vegetación leñosa. A partir de estas pruebas resultaron 62 variables explicativas.

Las mediciones de las distancias hacia disturbios antrópicos se tomaron a partir del centro de cada una de las parcelas de vegetación y hasta el inicio de los sitios de disturbio con la ayuda del sistema de información geográfica (SIG) QGIS versión 3.2.2 (<https://qgis.org/es/site/>). La cantidad de roca expuesta y materia orgánica en el suelo se registró cualitativamente asignando los números del uno al tres. Se asignó el número uno a la mínima cantidad y 3 a la máxima cantidad de roca y materia orgánica que se pudo observar en cada parcela de muestreo. La frecuencia de individuos policaulescentes se calculó dividiendo el número de individuos policaulescentes registrados en cada una de las parcelas de vegetación entre el número total de individuos policaulescentes de todas las parcelas.

La mayor eliminación de variables explicativas se efectuó mediante la realización preliminar de análisis de correspondencias canónicas (CCA). A partir de estos análisis se descartaron las variables explicativas con los menores valores de correlación obtenidos de manera particular para cada contexto de este análisis.

**Tabla 2.** Listado de las variables explicativas totales consideradas inicialmente para el estudio.

<b>Variable explicativa</b>	<b>Abreviatura</b>
Cantidad de roca expuesta en el suelo	Cant.Roca.Exp.
Cantidad de materia orgánica en el suelo	Cant.Mat.Org.
Frecuencia de individuos policaulescentes	Frec.Indiv.Polic.

Funcionamiento de las bombas de agua y mantenimiento de los ejes de captación de agua	Func.Manten. Bombas
Distancia de las parcelas a la carretera transversal	Dist.Carr.Transv.
Distancia de las parcelas al borde de la selva	Dist.Origen.Eje.Sec.
Distancia de las parcelas al eje de captación de agua contiguo al eje de muestreo	Dist.Eje.Contig.
Distancia de las parcelas a la casa	Dist.Casa
Distancia de las parcelas al rancho	Dist.Rancho
Distancia de las parcelas a la zona de extracción de material pétreo	Dist.Zona.Extrac.Pétreo
Riqueza de especies leñosas	Riq.Sp.S.q.0
Exponencial del índice de Shannon	Exp.H.q.1
Inverso del índice de Simpson	Inv.Simpson.q.2
IVI de las 58 especies leñosas registradas	

### **Análisis de correspondencias canónicas**

El CCA se realizó con el programa MVSP versión 3.1 (MultiVariate Statistical Package). Los CCA se realizaron con base en 6 contextos: (1) todas las especies de fauna registradas y de éstas, (2) aquellas registradas sólo en dosel y, (3) las registradas sólo en sotobosque; (4) todas las especies frugívoras registradas y de éstas, (5) sólo las registradas en dosel y (6) sólo las registradas en sotobosque. En todos los contextos se utilizaron datos tanto de abundancia como de presencia de las especies.

En lo que respecta a las matrices de variables explicativas empleada para cada contexto, todos los datos se normalizaron mediante la función  $y' = \text{Log}(y+1.1)$  con el fin de reducir la diferencia de magnitudes entre los valores de las variables.



**Tabla 3.** Valores de correlación de las variables explicativas abióticas y de disturbio antrópico inicialmente consideradas.

Estadístico	Variables	Cantidad. Roca.Exp.	Cantidad. Mat.Org.	Frec.Indiv. Policauc.	Dist.Carr. Transv.	Dist.Origen. Eje.Sec.
<b>Prueba Tau b de Kendall</b>	Cantidad.Mat.Org.	0.591				
	Frec.Indiv.Policauc.	0.202	0.131			
	Dist.Carr.Transv.	0.198	0.095	0.206		
	Dist.Origen.Eje.Sec.	0.161	0.012	0.083	0.043	
	Dist.Casa	0.196	0.113	0.200	<b>0.891*</b>	0.059
<b>Prueba de Spearman</b>	Cantidad.Mat.Org.	0.593				
	Frec.Indiv.Policauc.	0.202	0.131			
	Dist.Carr.Transv.	0.198	0.095	0.312		
	Dist.Origen.Eje.Sec.	0.161	0.012	0.110	0.044	
	Dist.Casa	0.187	0.113	0.310	<b>0.978*</b>	0.077
<b>Prueba de Pearson</b>	Cantidad.Mat.Org.	0.594				
	Frec.Indiv.Policauc.	0.180	0.095			
	Dist.Carr.Transv.	0.228	0.103	0.313		
	Dist.Origen.Eje.Sec.	0.265	0.113	0.120	0.120	
	Dist.Casa	0.258	0.158	0.311	<b>0.973*</b>	0.147

Estadístico	Variables	Dist. Rancho	Dist.Zona. Extrac. Pétreo	Dist.Eje. Contiguo	Func. Manten. Bombas	Riq. Sp.S.q.0	Exp.H. q.1	Inv. Simpson.q.2
<b>Prueba Tau b de Kendall</b>	Cantidad.Roca.Exp.	0.187	0.166	0.103	0.214	0.157	0.058	0.029
	Cantidad.Mat.Org.	0.096	0.150	0.023	0.291	0.023	0.071	0.067
	Frec.Indiv.Policau.	0.196	0.153	0.027	0.038	0.087	0.000	0.023
	Dist.Carr.Transv.	<b>0.942*</b>	0.644	0.080	0.228	0.087	0.018	0.060
	Dist.Origen.Eje.Sec.	0.050	0.080	0.005	0.208	0.181	0.140	0.128
	Dist.Casa	<b>0.939*</b>	0.739	0.003	0.273	0.084	0.015	0.066
<b>Prueba de Spearman</b>	Cantidad.Roca.Exp.	0.225	0.210	0.131	0.226	0.192	0.080	0.037
	Cantidad.Mat.Org.	0.120	0.190	0.028	0.308	0.031	0.089	0.090
	Frec.Indiv.Policau.	0.306	0.238	0.049	0.046	0.121	0.007	0.046
	Dist.Carr.Transv.	<b>0.993*</b>	<b>0.817*</b>	0.121	0.277	0.149	0.018	0.092
	Dist.Origen.Eje.Sec.	0.054	0.113	0.012	0.253	0.267	0.234	0.207
	Dist.Casa	<b>0.990*</b>	<b>0.894*</b>	0.022	0.332	0.144	0.029	0.106
<b>Prueba de Pearson</b>	Cantidad.Roca.Exp.	0.221	0.243	0.089	0.222	0.179	0.114	0.060
	Cantidad.Mat.Org.	0.110	0.224	0.017	0.306	0.018	0.063	0.094
	Frec.Indiv.Policau.	0.308	0.235	0.040	0.005	0.142	0.018	0.059
	Dist.Carr.Transv.	<b>0.995*</b>	<b>0.829*</b>	0.034	0.259	0.151	0.002	0.076
	Dist.Origen.Eje.Sec.	0.120	0.123	0.096	0.246	0.264	0.191	0.158
	Dist.Casa	<b>0.988*</b>	<b>0.913*</b>	0.055	0.382	0.130	0.030	0.114

Estadístico	Variables	Dist. Rancho	Dist.Zona. Extrac. Pétreo	Dist.Eje. Contiguo	Func. Manten. Bombas	Riq. Sp.S.q .0	Exp.H.q. 1
<b>Prueba Tau b de Kendall</b>	Dist.Zona.Extrac.Pétreo	0.701					
	Dist.Eje.Contiguo	0.026	0.208				
	Func.Manten.Bombas	0.226	0.314	0.266			
	Riq.Sp.S.q.0	0.102	0.052	0.049	0.002		
	Exp.H.q.1	0.006	0.038	0.002	0.047	0.567	
	Inv.Simpson.q.2	0.052	0.085	0.001	0.048	0.334	0.741
<b>Prueba de Spearman</b>	Dist.Zona.Extrac.Pétreo	<b>0.866*</b>					
	Dist.Eje.Contiguo	0.043	0.282				
	Func.Manten.Bombas	0.274	0.381	0.323			
	Riq.Sp.S.q.0	0.161	0.083	0.057	0.002		
	Exp.H.q.1	0.007	0.057	0.002	0.057	0.738	
	Inv.Simpson.q.2	0.087	0.124	0.012	0.059	0.464	<b>0.905*</b>
<b>Prueba de Pearson</b>	Dist.Zona.Extrac.Pétreo	<b>0.873*</b>					
	Dist.Eje.Contiguo	0.035	0.364				
	Func.Manten.Bombas	0.284	0.408	0.283			
	Riq.Sp.S.q.0	0.142	0.058	0.103	0.022		
	Exp.H.q.1	0.016	0.083	0.112	0.012	0.799	
	Inv.Simpson.q.2	0.098	0.151	0.099	0.046	0.542	<b>0.927*</b>

### **Análisis de conglomerados**

Se realizaron análisis de conglomerados de las especies frugívoras en función de su presencia y de la frecuencia de eventos de consumo de frutos de cada una de las cuatros especies arbóreas focales. Con ello se identificaron grupos de especies de acuerdo con la parte del fruto que consumen y la preferencia de consumo de alguna de las especies de frutos. La frecuencia de consumo de frutos se calculó mediante la fórmula:

$$\text{Frecuencia} = (\text{Número de eventos de frugivoría} / \log_{10}\text{EM}) * 10\ 000$$

Donde:

EM = esfuerzo de muestreo (días-cámara)

El análisis se realizó en tres contextos: (1) con el total de especies frugívoras, (2) con las especies frugívoras registradas en dosel y, (3) con las especies frugívoras registradas en sotobosque. Todos los análisis se ejecutaron en el programa MVSP versión 3.1 mediante la opción de análisis de conglomerados y el algoritmo UPGMA (Unweighted Pair Group Method using Arithmetic averages). Este algoritmo calcula la distancia promedio entre los pares de elementos de ambos conglomerados. Proporciona conglomerados ni demasiado grandes ni demasiado pequeños, tendiendo a fusionar conglomerados con varianzas pequeñas y a reconfigurar conglomerados con la misma varianza (De la Fuente 2011; Gower 1967). Se utilizó el índice de similitud de Sorensen para el análisis de conglomerados en función de la parte del fruto consumida por los frugívoros, ya que los datos empleados fueron de presencia-ausencia. En los análisis derivados de datos de frecuencia de consumo de frutos, se seleccionó el índice de disimilitud de Bray-Curtis (Halffter et al. (eds.) 2005).

## RESULTADOS

### Especies de fauna registradas

El esfuerzo de muestreo total fue de 8 734 días-trampa; el esfuerzo de muestreo a nivel del dosel fue de 4 367 días-trampa y a nivel de sotobosque de 4 367 días-trampa.

El esfuerzo de muestreo por especie arbórea focal fue distinto para cada especie. *Manilkara zapota* se muestreó durante los meses de enero a marzo (3 214 días-trampa); *Sideroxylon foetidissimum* durante marzo a abril (1 290 días-trampa); *Vitex gaumeri* de mayo a julio (3 494 días-trampa) y *Metopium brownei* de septiembre a octubre (736 días-trampa).

Se obtuvieron un total de 1 494 registros independientes (**tabla 4**).

**Tabla 4.** Número de registros independientes de especies de fauna registrados por especie arbórea focal.

Especie	Registros independientes	Registros independientes en dosel	Registros independientes en sotobosque
<i>Manilkara zapota</i>	335	103	232
<i>Sideroxylon foetidissimum</i>	340	58	282
<i>Vitex gaumeri</i>	676	80	596
<i>Metopium brownei</i>	143	3	140

Se registraron un total de 20 especies de fauna (aves y mamíferos) en las 60 parcelas de vegetación. El grupo de las aves estuvo representado por 4 órdenes, 8 familias, 9 géneros y 9 especies; mientras que los mamíferos se agruparon en 6 órdenes, 9 familias, 10 géneros y 11 especies (**tabla 5**). De éstas, sólo 17 especies se consideraron como especies de vertebrados frugívoros debido a que se registraron consumiendo alguna de las especies de frutos de las especies arbóreas focales o de acuerdo con lo reportado en la bibliografía.

En el caso particular de *Dasypus novemcinctus*, en la bibliografía (Mendoza 2005, Mengak 2005) se reporta que la dieta de la especie se basa principalmente en el consumo de insectos, tubérculos e incluso de algunos pequeños anfibios y reptiles, así como huevos (Staller et al. 2005). Sin embargo, en este estudio lo hemos considerado como especie frugívora debido a que se registró consumiendo los frutos de *Manilkara zapota*.

Las especies de vertebrados frugívoros registrados al nivel de dosel fueron 9: tres especies de mamíferos y 6 especies de aves; mientras que las especies frugívoras registradas en sotobosque fueron 10 en total, de las cuales 7 fueron mamíferos y 3 aves (**tabla 5**).

*Canis lupus familiaris*, *Leopardus wiedii* y *Seiurus aurocapilla* no se consideraron en los análisis de especies frugívoras debido a su dieta; sin embargo, se incluyeron en los CCA y los análisis de conglomerados generales.

**Tabla 5.** Número de registros independientes (n) e índice de abundancia relativa (IAR) de las especies de fauna registradas por foto-trampeo a nivel de dosel (d) y de sotobosque (s). N/D: no definido. (\*) especies no frugívoras. NOM-059: Norma Oficial Mexicana SEMARNAT 2010: P en peligro, A amenazada, Pr protección especial.

Especie	n	IARt	IARd	IARs	Distribución	NOM-059
Orden Galliformes						
Familia Cracidae						
<i>Crax rubra griscomi</i>	6	27.34	0	31.70	Endémica	P
Orden Columbiformes						
Familia Columbidae					No endémica	
<i>Leptotila jamaicensis</i>	62	293.59	0	338.41		
<i>Patagioenas leucocephala</i>	20	85.67	98.36	0	No endémica	A
Orden Piciformes						
Familia Picidae						
<i>Melanerpes pygmaeus pygmaeus</i>	2	27.14	31.42	0	Endémica	

Orden Passeriformes						
Familia Tyrannidae						
<i>Myiarchus</i> sp.	2	8.87	10.23	0	No endémica	
Familia Vireonidae						
<i>Vireo magister</i>	1	4.48	5.18	0	No endémica	
Familia Mimidae						
<i>Melanoptila glabrirostris cozumelae</i>	44	211.47	82.56	165.38	Endémica	Pr
Familia Spindalidae						
<i>Spindalis zena benedicti</i>	4	21.75	20.63	0	Endémica	
Familia Parulidae						
<b>*<i>Seiurus aurocapilla</i></b>	1	4.53	0	5.24	No endémica	
Orden Didelphiomorpha						
Familia Didelphidae						
<i>Didelphis marsupialis cozumelae</i>	87	401.88	0	469.57	Endémica	
Orden Xenarthra						
Familia Dasypodidae						
<i>Dasypus novemcinctus</i>	166	767.23	0	892.20	Introducida	
Orden Chiroptera						
1	5.12	6.05	0	N/D	N/D	
Orden Carnivora						
Familia Canidae						
<b>*<i>Canis lupus familiaris</i></b>	12	54.47	0	63.10	Feral	
Familia Felidae						
<b>*<i>Leopardus wiedii</i></b>	9	40.39	0	46.71	Introducida	P
Familia Procyonidae						
<i>Potos flavus</i>	147	690.09	805.74	0	Introducida	Pr
<i>Nasua narica nelsoni</i>	498	2308.16	257.84	2427.95	Endémica	A
Orden Artiodactyla						
Familia Cervidae						
<i>Odocoileus virginianus</i>	10	45.47	0	52.69	Introducida	
Familia Tayassuidae						
<i>Pecari tajacu nanus</i>	215	981.76	0	1139.60	Endémica	

---

Orden Rodentia					
Familia Cuniculidae					
<i>Cuniculus paca</i>	175	815.56	0	949.82	Introducida
Familia Dasyproctidae					
<i>Dasyprocta punctata</i>	28	134.81	0	158.22	Introducida

---

*Nasua narica nelsoni* fue la especie con el valor del IAR más elevado, seguida de *Pecari tajacu nanus*, *Cuniculus paca*, *Dasyopus novemcinctus*, *Potos flavus* y *Didelphis marsupialis cozumelae*.

De las especies registradas a nivel de dosel, *Potos flavus* fue la especie más abundante y *Nasua narica nelsoni* la segunda más abundante. Las especies *Nasua narica nelsoni*, *Pecari tajacu nanus*, *Cuniculus paca* y *Dasyopus novemcinctus* fueron las más abundantes registradas en sotobosque (**anexo B**).

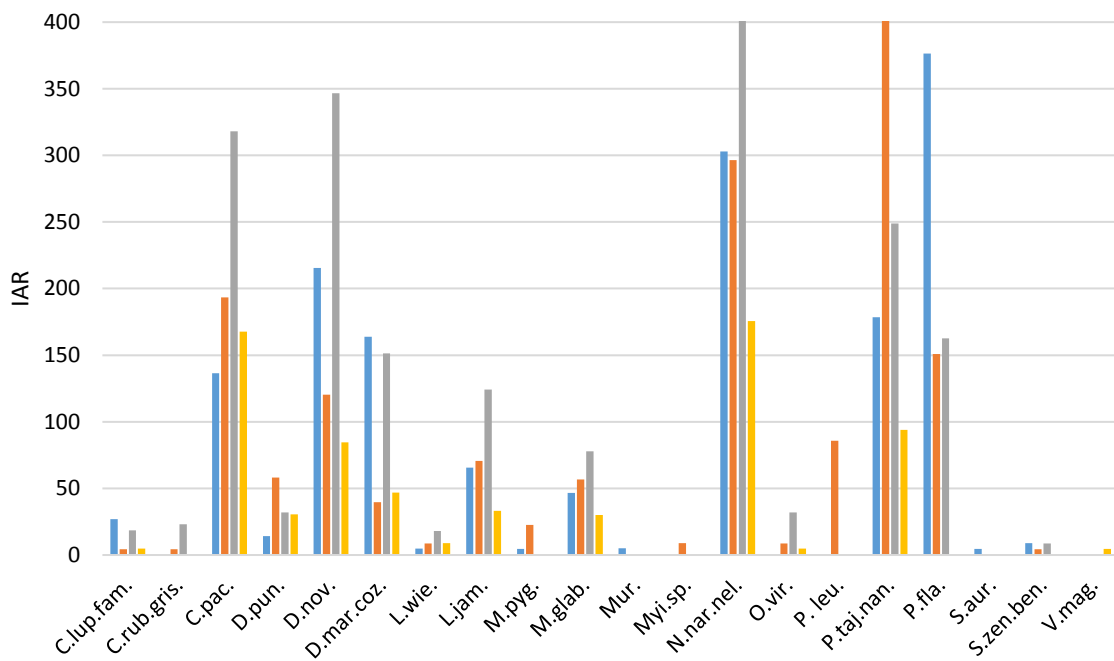
Las especies de fauna registradas en función de las especies arbóreas focales fue diferencial (**tabla 6**). La especie arbórea donde se detectó un mayor número de especies de fauna fue *Sideroxylon foetidissimum* con 17 especies, de las cuales 15 corresponden a frugívoros; en *Manilkara zapota* se registraron 15 especies, 12 de ellas frugívoras; en *Vitex gaumeri* 14 especies, de las cuales 12 correspondieron a frugívoros, y en *Metopium brownei* 12 especies, de éstas 10 frugívoras.



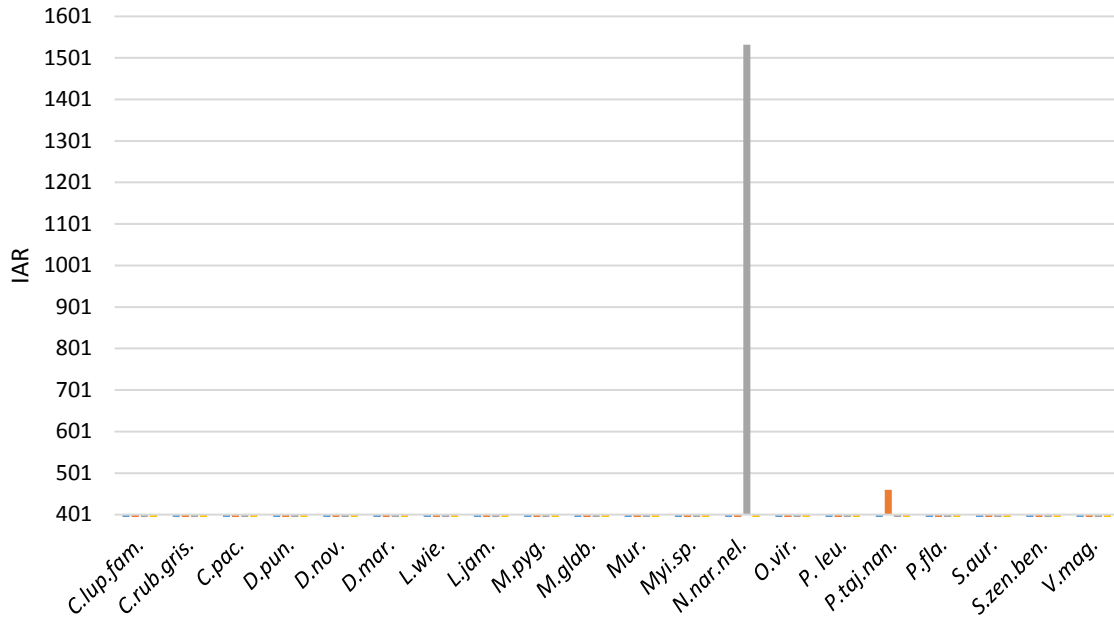
**Tabla 6.** Especies de fauna registradas por especie arbórea focal en dosel (d) y sotobosque (s). NR = no registrada.

	<i>Manilkara zapota</i>	<i>Sideroxylon foetidissimum</i>	<i>Vitex gaumeri</i>	<i>Metopium brownei</i>
<b>Aves</b>				
<i>Crax rubra griscomi</i>	NR	s	s	NR
<i>Leptotila jamaicensis</i>	s	s	s	s
<i>Patagioenas leucocephala</i>	NR	d	NR	NR
<i>Melanerpes pygmaeus pygmaeus</i>	d	d	NR	NR
<i>Myiarchus</i> sp.	NR	d	NR	NR
<i>Vireo magister</i>	NR	NR	NR	d
<i>Melanoptila glabrirostris cozumelae</i>	d, s	d, s	d, s	d, s
<i>Spindalis zena benedicti</i>	d	d	d	NR
<i>Seiurus aurocapilla</i>	s	NR	NR	NR
<b>Mamíferos</b>				
<i>Didelphis marsupialis cozumelae</i>	s	s	s	s
<i>Dasypus novemcinctus</i>	s	s	s	s
Orden Chiroptera	d	NR	NR	NR
<i>Canis lupus familiaris</i>	s	s	s	s
<i>Leopardus wiedii</i>	s	s	s	s
<i>Potos flavus</i>	d	d	d	NR
<i>Nasua narica nelsoni</i>	d, s	s	d, s	d, s
<i>Odocoileus virginianus</i>	NR	s	s	s
<i>Pecari tajacu nanus</i>	s	s	s	s
<i>Cuniculus paca</i>	s	s	s	s
<i>Dasyprocta punctata</i>	s	s	s	s

De acuerdo con los valores de IAR de las especies de fauna registradas por especie arbórea focal (**figura 6; figura 6, continuación**), *Nasua narica nelsoni* fue la especie más abundante registrada en *Vitex gaumeri*; *Pecari tajacu nanus* en *Sideroxylon foetidissimum*; *Potos flavus* en *Manilkara zapota* y *Cuniculus paca* en *Metopium brownei*. En contraste, *Dasyprocta punctata* fue la especie menos abundante en *Manilkara zapota*; *Myiarchus* sp. en *Sideroxylon foetidissimum*; *Leopardus wiedii* en *Vitex gaumeri* y *Vireo magister* en *Metopium brownei*.

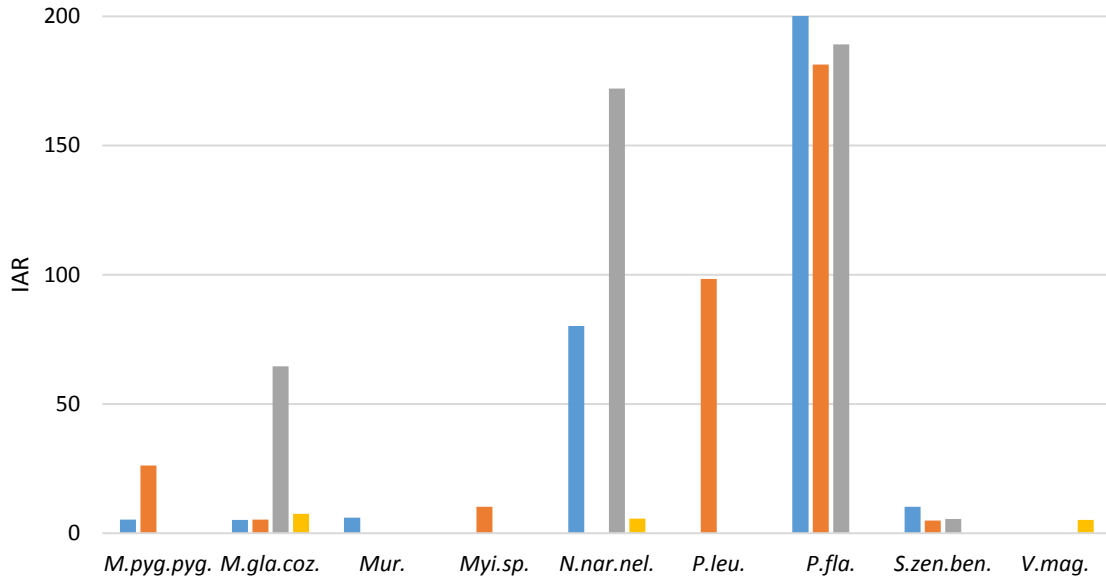


**Figura 6.** Índice de abundancia relativa (IAR) de las especies de vertebrados registradas en *Manilkara zapota* (azul), *Sideroxylon foetidissimum* (anaranjado), *Vitex gaumeri* (gris) y *Metopium brownei* (amarillo).

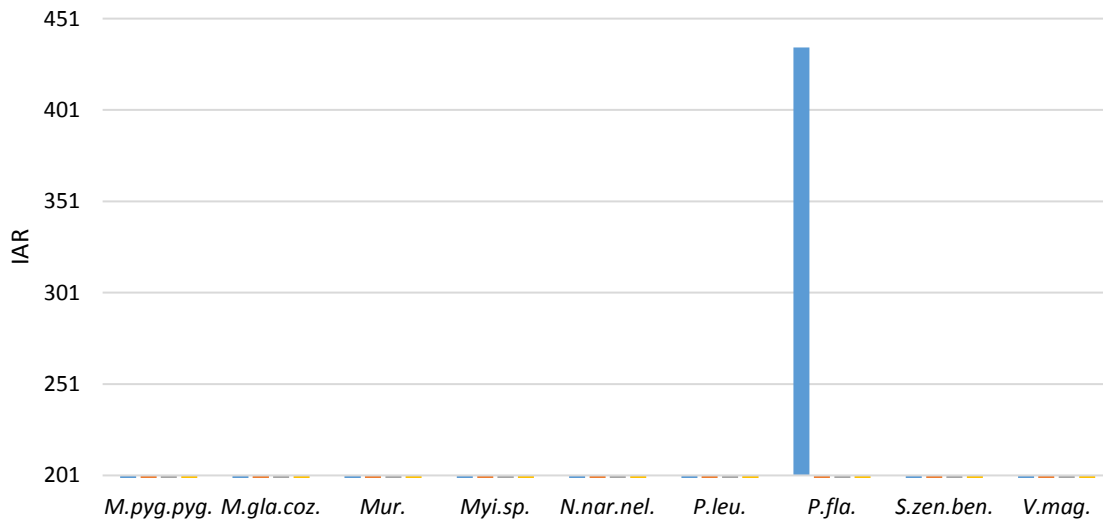


**Figura 6, continuación.** Índice de abundancia relativa (IAR) de las especies de vertebrados registradas en *Manilkara zapota* (azul), *Sideroxylon foetidissimum* (anaranjado).

En cuanto a los resultados del IAR obtenidos en dosel correspondiente a cada especie arbórea focal (**figura 7; figura 7, continaución**), la especie con mayor valor del IAR en *Manilkara zapota*, *Sideroxylon foetidissimum* y *Vitex gaumeri* fue *Potos flavus*, seguida de *Nasua narica nelsoni*, especie registrada en *Manilkara zapota*, *Vitex gaumeri* y *Metopium brownei*. *Patagioenas leucocephala* reportó una abundancia considerable sólo en *Sideroxylon foetidissimum*. Las especies con menor IAR fueron *Vireo magister* registrada *Metopium brownei*, *Myiarchus sp.* en *Sideroxylon foetidissimum*, orden Chiroptera en *Manilkara zapota* y *Spindalis zena benedicti* registrada en *Manilkara zapota*, *Sideroxylon foetidissimum* y *Vitex gaumeri*.

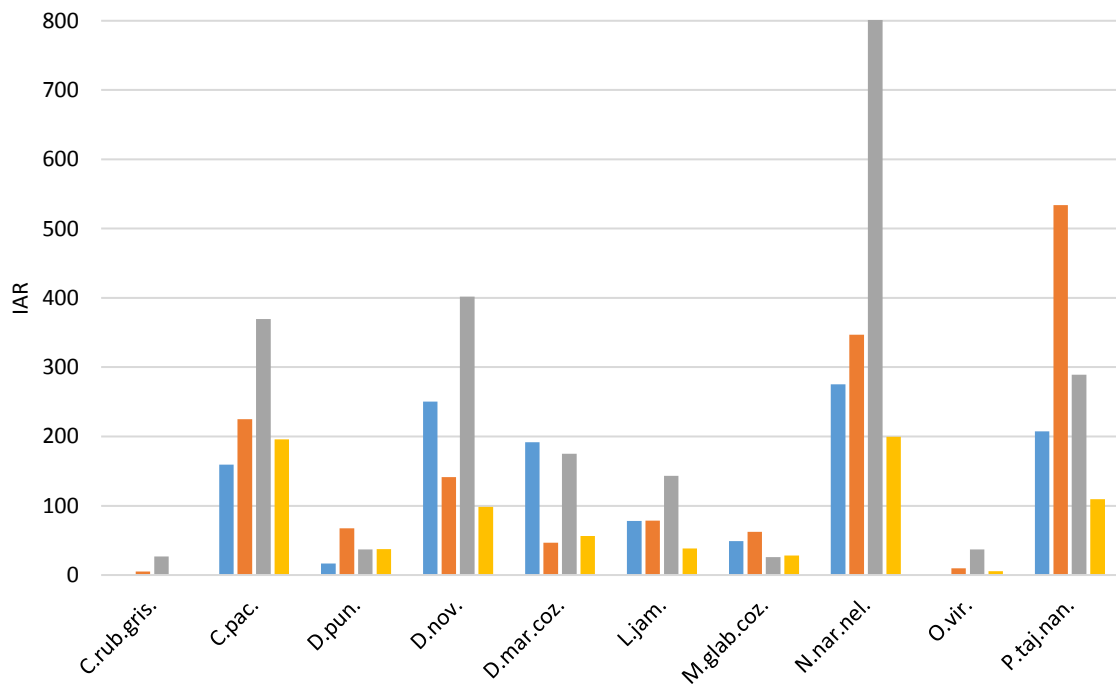


**Figura 7.** Índice de abundancia relativa de las especies de vertebrados frugívoros registradas en dosel por especie focal. *Manilkara zapota* (azul), *Sideroxylon foetidissimum* (anaranjado), *Vitex gaumeri* (gris) y *Metopium brownei* (amarillo).

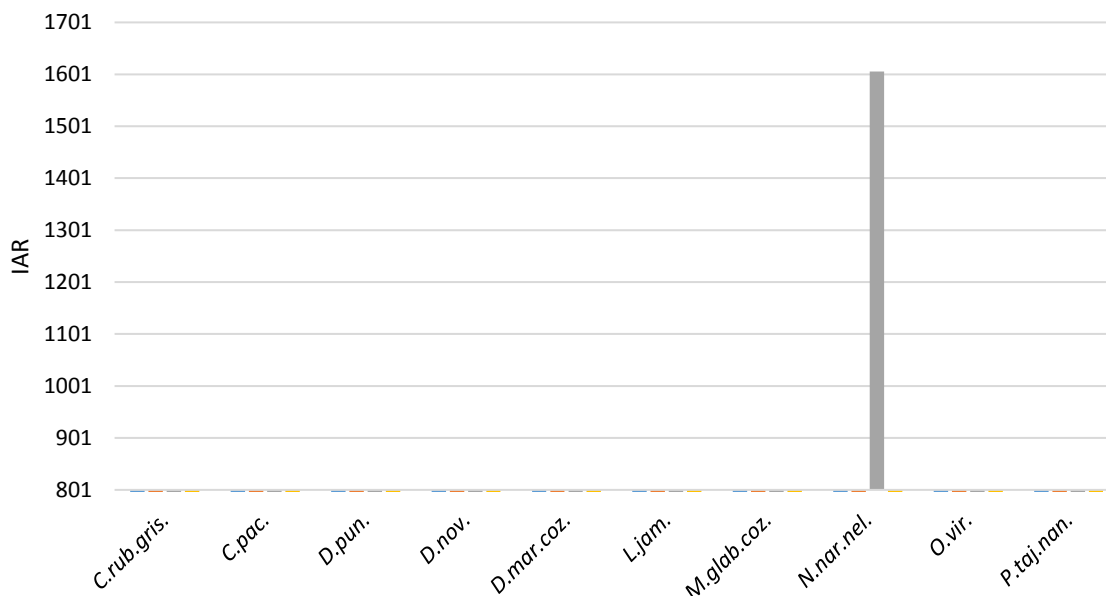


**Figura 7, continuación.** Índice de abundancia relativa de las especies de vertebrados frugívoros registradas en dosel por especie focal. *Manilkara zapota* (azul).

*Nasua narica nelsoni* fue la especie registrada en sotobosque con el mayor IAR para las cuatro especies focales, seguida de *Pecari tajacu nanus*. Esta última resultó más abundante en *Sideroxylon foetidissimum*; mientras que *Nasua narica nelsoni* lo fue en *Vitex gaumeri*. Por otra parte, *Crax rubra griscomi*, *Dasyprocta punctata* y *Odocoileus virginianus* reportaron los menores valores del IAR en todas las especies focales en las que se registraron (**figura 8; figura 8, continuación**).



**Figura 8.** Índice de abundancia relativa de las especies de vertebrados frugívoros registradas en sotobosque por especie focal. *Manilkara zapota* (azul), *Sideroxylon foetidissimum* (anaranjado), *Vitex gaumeri* (gris) y *Metopium brownei* (amarillo).

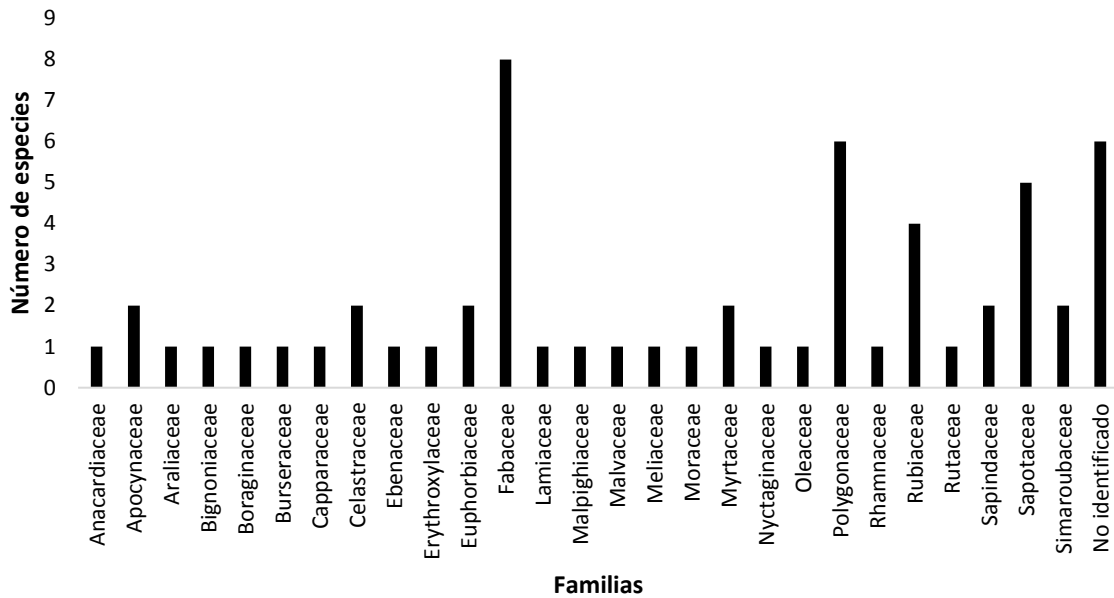


**Figura 8, continuación.** Índice de abundancia relativa de las especies de vertebrados frugívoros registradas en sotobosque por especie focal. *Vitex gaumeri* (gris).

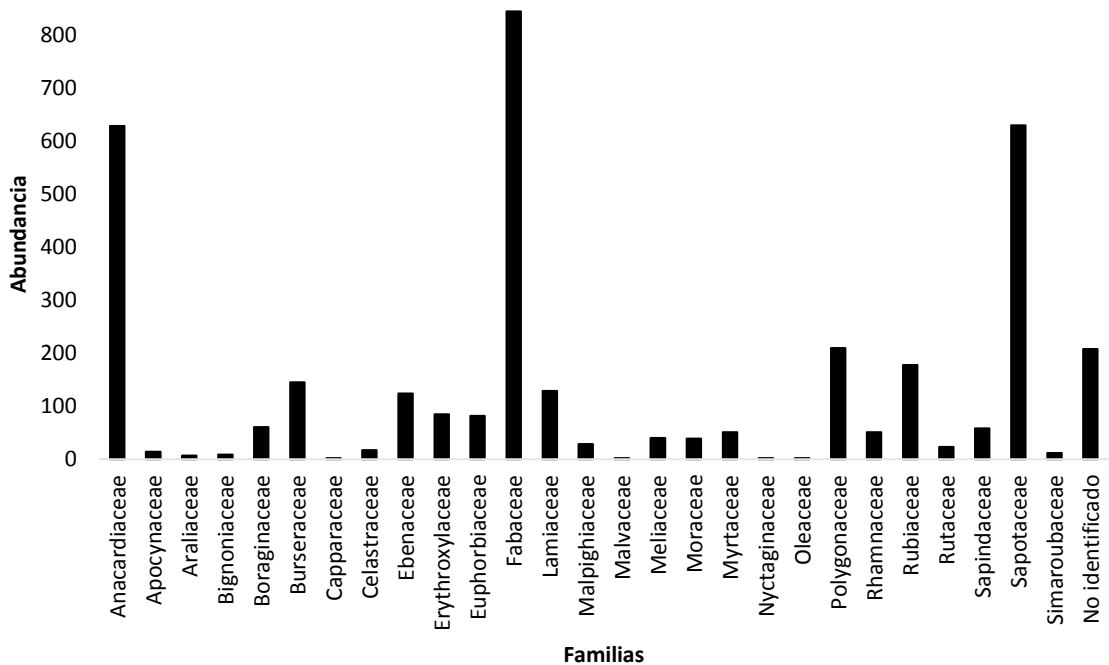
### Especies leñosas registradas

Se registraron un total de 3,679 individuos dentro de las 60 parcelas de vegetación. La composición de la vegetación leñosa estuvo conformada por un total de 58 especies, incluidas especies arbóreas y arbustivas. Las 58 especies leñosas se distribuyeron entre 27 familias y 37 géneros. El 74% (43 especies) fueron identificadas hasta el nivel de especie y el 26% (15 especies) se catalogaron como morfoespecies. La familia con mayor número de especies fue Fabaceae con 8 especies (14%), seguida por Polygonaceae y Sapotaceae con 6 (10%) y 5 (9%), respectivamente (**figura 9**).

Las familias con mayor abundancia fueron Fabaceae, Anacardiaceae y Sapotaceae. La familia Fabaceae representó el 23% del total de individuos leñosos con 844 individuos; Anacardiaceae con sólo una especie, representó el 17% (629 individuos) y Sapotaceae el 17% (628 individuos) (**figura 10**).



**Figura 9.** Número de especies leñosas por familia registradas en las 60 parcelas de muestreo dentro de la selva mediana subcaducifolia de isla Cozumel.



**Figura 10.** Abundancia de las especies leñosas por familia registradas en las 60 parcelas de muestreo dentro de la selva mediana subcaducifolia de isla Cozumel.

Las especies con mayor abundancia fueron *Metopium brownei* (629 individuos), *Manilkara zapota* (515 individuos), *Gliricidia sepium* (409 individuos), la morfoespecie 2 (208 individuos) y *Guettarda elliptica* (149 individuos). Éstas representaron el 17%, 14%, 11%, 6% y 4% respectivamente, del total de individuos leñosos registrados.

Las especies más importantes de acuerdo con su valor del IVI fueron *Metopium brownei*, *Manilkara zapota*, *Gliricidia sepium*, morfoespecie 2, *Caesalpinia gaumeri*, *Vitex gaumeri* y *Bursera simaruba* (**tabla 7**).

Los valores globales del IVI de cada especie leñosa se obtuvieron a partir de la sumatoria de sus valores del IVI en cada una de las parcelas de muestreo donde se registró. El porcentaje global del IVI de cada especie leñosa corresponde a la proporción que representa ésta del valor total del IVI de todas las especies leñosas registradas.

**Tabla 7.** Abundancia e índice de valor de importancia (IVI) de las especies leñosas registradas en las 60 parcelas de muestreo. Se destacan con negritas y asterisco las especies leñosas con un valor de abundancia > 100 e IVI > 100.

Espece	Abundancia	IVI	% IVI
Familia Anacardiaceae			
<b><i>Metopium brownei</i></b>	<b>*629</b>	<b>*1088.17</b>	<b>*18.12</b>
Familia Apocynaceae			
<i>Plumeria obtusa</i>	11	19.42	0.32
<i>Thevetia gaumeri</i>	3	4.30	0.07
Familia Araliaceae			
<i>Dendropanax arboreus</i>	7	7.44	0.12
Familia Bignoniaceae			
<i>Tabebuia chrysantha</i>	9	16.21	0.27
Familia Boraginaceae			
<i>Cordia dodecandra</i>	61	96.78	1.61
Familia Burseraceae			
<b><i>Bursera simaruba</i></b>	<b>*145</b>	<b>*216.40</b>	<b>*3.60</b>



<b>Familia Capparaceae</b>			
Morfoespecie 22	1	1.07	0.02
<b>Familia Celastraceae</b>			
<i>Semialarium mexicanum</i>	15	18.24	0.30
Morfoespecie 29	1	1.78	0.03
<b>Familia Ebenaceae</b>			
<b><i>Diospyros verae-crucis</i></b>	<b>*124</b>	<b>*137.88</b>	<b>*2.30</b>
<b>Familia Erythroxylaceae</b>			
<b><i>Erythroxylum rotundifolium</i></b>	85	<b>*123.00</b>	<b>*2.05</b>
<b>Familia Euphorbiaceae</b>			
<i>Gymnanthes lucida</i>	76	94.82	1.58
<i>Jatropha gaumeri</i>	6	5.59	0.09
<b>Familia Fabaceae</b>			
<i>Ateleia gummifera</i>	6	9.62	0.16
<b><i>Caesalpinia gaumeri</i></b>	<b>*130</b>	<b>*242.97</b>	<b>*4.05</b>
<b><i>Caesalpinia mollis</i></b>	<b>*113</b>	<b>*202.55</b>	<b>*3.37</b>
<b><i>Gliricidia sepium</i></b>	<b>*409</b>	<b>*752.23</b>	<b>*12.53</b>
<b><i>Lysiloma latisiliquum</i></b>	62	<b>*163.18</b>	<b>*2.72</b>
<b><i>Piscidia piscipula</i></b>	99	<b>*148.11</b>	<b>*2.47</b>
<i>Swartzia cubensis</i>	23	45.46	0.76
Morfoespecie 17	1	0.91	0.02
<b>Familia Lamiaceae</b>			
<b><i>Vitex gaumeri</i></b>	<b>*129</b>	<b>*229.77</b>	<b>*3.83</b>
<b>Familia Malpighiaceae</b>			
<i>Byrsonima bucidaefolia</i>	29	46.62	0.78
<b>Familia Malvaceae</b>			
<i>Ceiba aesculifolia</i>	2	7.92	0.13
<b>Familia Meliaceae</b>			
<i>Trichilia hirta</i>	40	74.99	1.25
<b>Familia Moraceae</b>			
<i>Ficus obtusifolia</i>	39	54.02	0.90
<b>Familia Myrtaceae</b>			
<i>Eugenia karwinskyana</i>	47	59.49	0.99

<i>Psidium sartorianum</i>	4	4.38	0.07
<b>Familia Nyctaginaceae</b>			
Morfoespecie 7	1	1.21	0.02
<b>Familia Oleaceae</b>			
Morfoespecie 19	2	3.80	0.06
<b>Familia Polygonaceae</b>			
<i>Coccoloba acapulcensis</i>	14	15.95	0.27
<b><i>Coccoloba cozumelensis</i></b>	<b>*127</b>	<b>*176.19</b>	<b>*2.93</b>
<i>Coccoloba diversifolia</i>	26	29.44	0.49
<i>Coccoloba swartzii</i>	16	16.42	0.27
<i>Gymnopodium floribundum</i>	22	25.82	0.43
Morfoespecie 28	1	1.13	0.02
<b>Familia Rhamnaceae</b>			
<i>Krugiodendron ferreum</i>	51	69.53	1.16
<b>Familia Rubiaceae</b>			
<i>Guettarda combsii</i>	25	28.28	0.47
<b><i>Guettarda elliptica</i></b>	<b>*149</b>	<b>*198.52</b>	<b>*3.31</b>
<i>Randia longiloba</i>	2	2.89	0.05
Morfoespecie 30	1	1.36	0.02
<b>Familia Rutaceae</b>			
<i>Esenbeckia pentaphylla</i>	23	24.72	0.41
<b>Familia Sapindaceae</b>			
<i>Exothea diphylla</i>	3	4.27	0.07
<i>Thouinia paucidentata</i>	55	67.85	1.13
<b>Familia Sapotaceae</b>			
<b><i>Manilkara zapota</i></b>	<b>*515</b>	<b>*942.72</b>	<b>*15.70</b>
<i>Pouteria campechiana</i>	50	60.35	1.00
<b><i>Sideroxylon foetidissimum</i></b>	<b>61</b>	<b>*154.19</b>	<b>*2.57</b>
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	1	1.35	0.02
Morfoespecie 24	4	6.86	0.11
<b>Familia Simaroubaceae</b>			
<i>Simarouba glauca</i>	10	16.30	0.27
Morfoespecie 20	1	1.10	0.02
<b>Morfoespecies</b>			

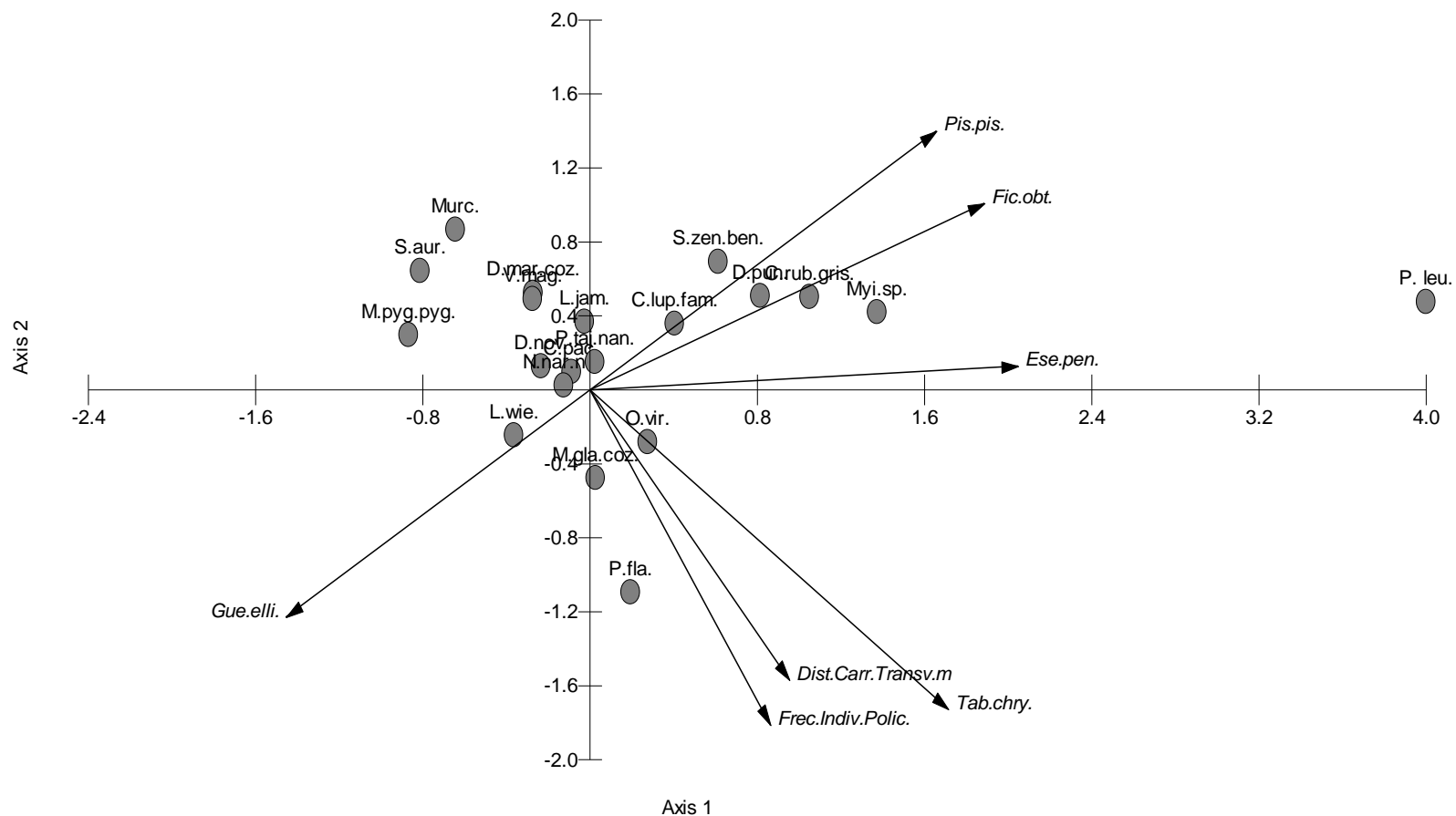
<b>Morfoespecie 2</b>	<b>*208</b>	<b>*275.00</b>	<b>*4.58</b>
Morfoespecie 6	1	1.12	0.02
Morfoespecie 18	1	1.16	0.02
Morfoespecie 23	1	1.65	0.03
Morfoespecie 27	1	1.15	0.02
Morfoespecie 31	1	1.20	0.02

### **Variables explicativas de los ensambles de vertebrados frugívoros**

En un primer CCA que se llevó a cabo con datos de abundancia del total de especies de vertebrados registradas en el dosel y en el sotobosque de las 60 parcelas de muestreo, se obtuvo que las variables explicativas mayormente asociadas con la abundancia relativa de las especies de vertebrados registradas fueron la distancia de las parcelas de muestreo a la carretera transversal, frecuencia de individuos policaulescentes en las parcelas de muestreo y las especies leñosas *Ficus obtusifolia*, *Guettarda elliptica*, *Piscidia piscipula* y *Tabebuia chrysantha* (**tabla 8**). De acuerdo con los resultados (**fig. 11**), *Spindalis zena benedicti* estuvo más asociada con la especie *Piscidia piscipula*. *Myiarchus* sp., *Spindalis zena benedicti* y *Dasyprocta punctata* se asociaron mayormente con las especies arbóreas *Piscidia piscipula* y *Ficus obtusifolia*. Mientras que *Crax rubra griscomi* y *Patagioenas leucocephala* estuvieron fuertemente asociadas con las especies *Ficus obtusifolia* y *Esenbeckia pentaphylla*. *Potos flavus* se relacionó negativamente con las variables frecuencia de individuos policaulescentes y distancia de las parcelas a la carretera transversal. *Melanerpes pygmaeus* se relacionó ligeramente con la especie leñosa *Guettarda elliptica*.

**Tabla 8.** Resultados del CCA que incluye todas las especies de vertebrados en función de sus abundancias relativas registradas en las 60 parcelas de muestreo. Se muestran los valores de correlación de las variables explicativas asociados a los dos primeros ejes del análisis. Se resaltan en negritas las variables con los valores de correlación más altos.

	Eje 1	Eje 2
Valores de los ejes (eigenvalues)	0.297	0.250
Porcentaje acumulado (Cum.Constr.Percentage)	34.96	64.335
Valores de correlación (Spec.- env. correlations)	0.877	0.836
<b>Variables</b>		
<b>Distancia a la carretera transversal (Dist.Carr.Transv.)</b>	0.068	<b>-0.346</b>
<b>Frecuencia de individuos policaulescentes (Frec.Indiv.Polic.)</b>	0.180	<b>-0.424</b>
Inverso del índice de Simpson (Inv.Simp.q.2)	0.259	-0.042
<i>Erythroxyllum rotundifolium</i> (Ery.rot.)	-0.331	0.050
<b><i>Esenbeckia pentaphylla</i> (Ese.pen.)</b>	0.334	<b>0.378</b>
<b><i>Ficus obtusifolia</i> (Fic. obt.)</b>	<b>0.423</b>	0.233
<b><i>Guettarda elliptica</i> (Gue.elli.)</b>	<b>-0.398</b>	-0.114
<i>Lisyloma latisiliquum</i> (Lis.lat.)	0.038	-0.304
<i>Metopium brownei</i> (Met.bro.)	0.168	-0.162
Morfoespecie 2 (Sp.2)	-0.173	0.294
<b><i>Piscidia piscipula</i> (Pis.pis.)</b>	<b>0.460</b>	0.133
<i>Semialarium mexicanum</i> (Sem.mex.)	0.298	-0.008
<b><i>Tabebuia chrysantha</i> (Tab.chry.)</b>	0.004	<b>-0.537</b>
<i>Trichilia hirta</i> (Tri.hir.)	0.054	-0.296



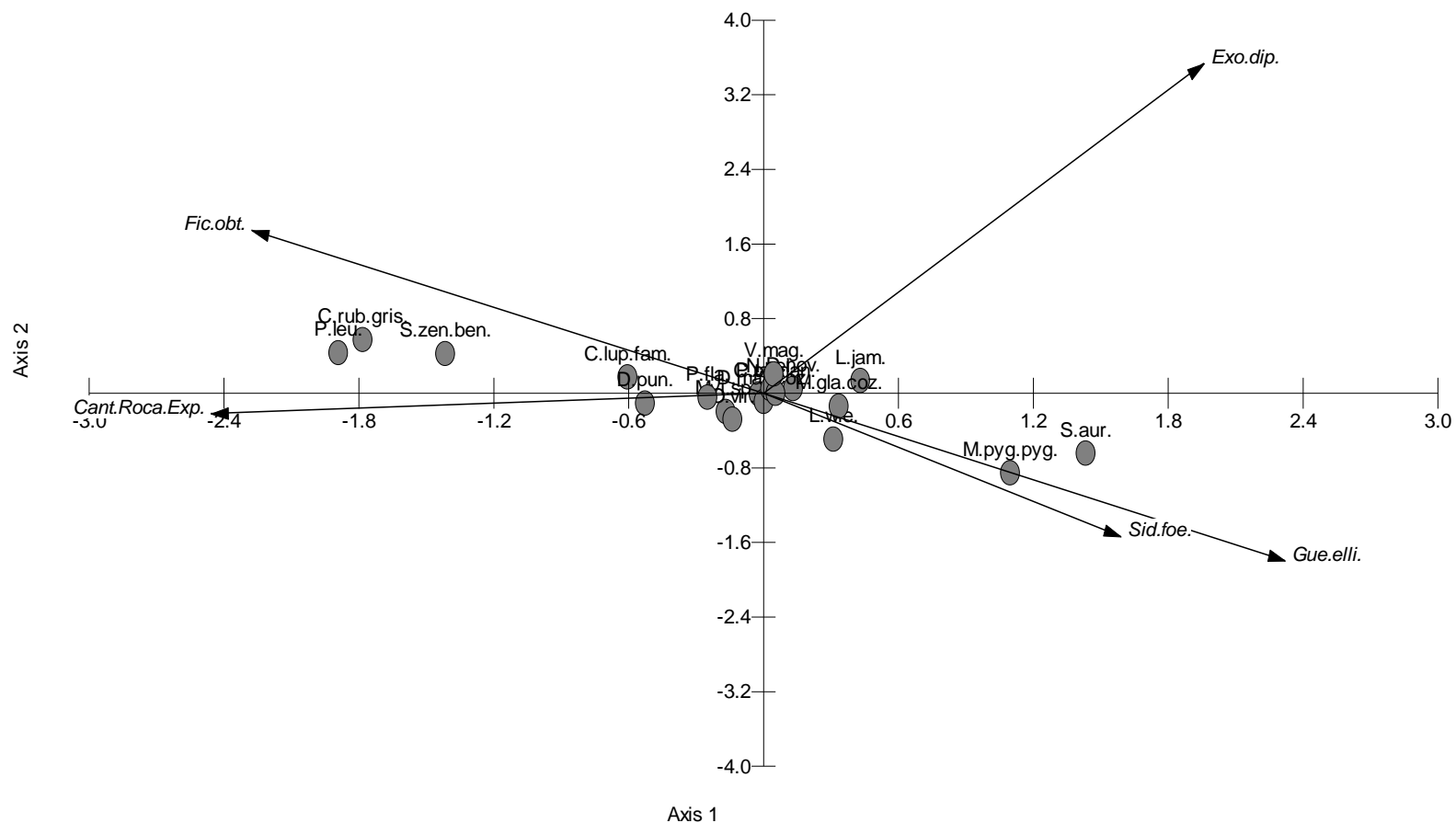
Vector scaling: 3.27

**Figura 11.** Diagrama de ordenación de todas las especies de vertebrados (óvalos grises) en función de sus abundancias relativas en cada una de las 60 parcelas de muestreo. Las principales variables explicativas se representan como flechas vectoriales.

A partir del CCA que se realizó con datos de presencia de todas las especies de vertebrados registradas en el dosel y en el sotobosque en las 60 parcelas de muestreo, se obtuvo que la cantidad de roca expuesta en el suelo de las parcelas muestreadas y las especies leñosas *Exothea diphylla*, *Ficus obtusifolia*, *Guettarda elliptica* y *Sideroxylon foetidissimum* fueron las variables explicativas mayormente asociadas con la presencia de las especies de vertebrados registradas (**tabla 9**). *Melanerpes pygmaeus pygmaeus* y *Seiurus aurocapilla* resultaron estar más asociadas con las especies leñosas *Guettarda elliptica* y *Sideroxylon foetidissimum*. Mientras que la presencia de *Crax rubra griscomi*, *Patagioenas leucocephala* y *Spindalis zena benedicti* estuvo relacionada de manera importante con la especie arbórea *Ficus obtusifolia* y con la cantidad de roca expuesta en el suelo (**fig. 12**).

**Tabla 9.** Resultados del CCA que incluye todas las especies de vertebrados en función de su presencia en las 60 parcelas de muestreo. Se muestran los valores de las variables explicativas asociadas a los dos primeros ejes del análisis. Se resaltan en negritas las variables con los valores de correlación más altos.

	Eje 1	Eje 2
Valores de los ejes (eigenvalues)	0.160	0.098
Porcentaje acumulado (Cum.Constr.Percentage)	36.609	59.168
Valores de correlación (Spec.- env. correlations)	0.798	0.645
<b>Variables</b>		
<b>Cantidad de roca expuesta (Cant.Roca.Exp.)</b>	<b>-0.469</b>	-0.247
<i>Caesalpinia gaumeri</i> (Cae.gau.)	0.047	0.161
<i>Caesalpinia mollis</i> (Cae.mol.)	-0.172	-0.135
<b><i>Exothea diphylla</i> (Exo.dip.)</b>	<b>0.543</b>	<b>0.723</b>
<b><i>Ficus obtusifolia</i> (Fic. obt.)</b>	<b>-0.475</b>	0.181
<b><i>Guettarda elliptica</i> (Gue.ell.)</b>	0.314	<b>-0.443</b>
<i>Semialarium mexicanum</i> (Sem. mex.)	0.042	-0.128
<b><i>Sideroxylon foetidissimum</i> (Sid. foe.)</b>	0.377	<b>-0.430</b>



Vector scaling: 4.55

**Figura 12.** Diagrama de ordenación de todas las especies de vertebrados (óvalos grises) en función de su presencia en cada una de las 60 parcelas de muestreo. Las principales variables explicativas se representan como flechas vectoriales.

Los CCA realizados en función de las abundancias relativas y la presencia de todas las especies de vertebrados registradas en el dosel se omitieron debido a que eran idénticos a los realizados con las especies de vertebrados frugívoros registradas en dosel los cuales se presentarán en CCA posteriores.

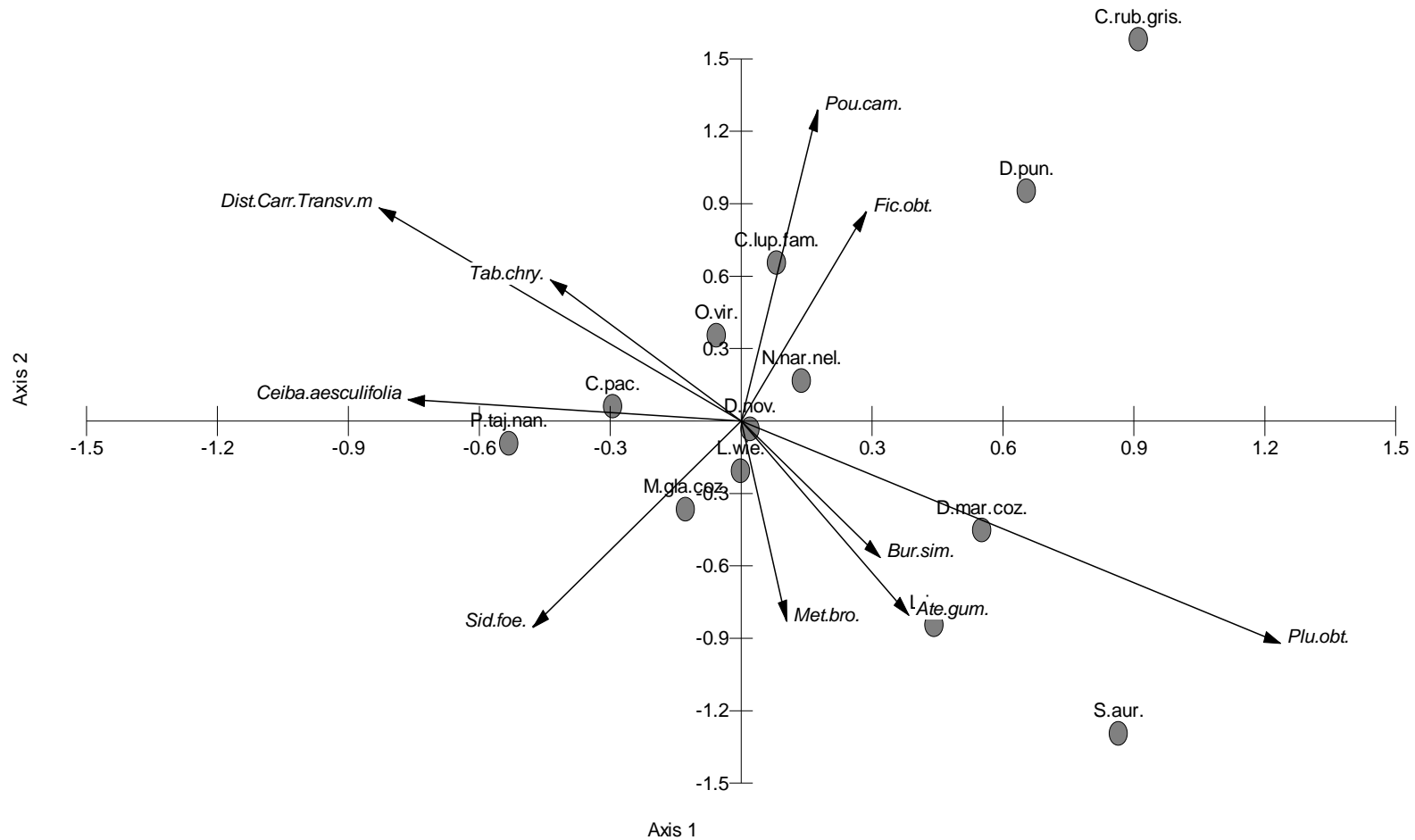
Los resultados del CCA ejecutado a partir de los datos de abundancias relativas de las especies de vertebrados registradas en el sotobosque sugieren que las variables con mayor incidencia en la abundancia de estas especies son la distancia a la carretera transversal y las especies leñosas *Pouteria campechiana*, *Ficus obtusifolia*, *Plumeria obtusa*, *Bursera simaruba*, *Ateleia gummifera*, *Metopium brownei*, *Sideroxylon foetidissimum*, *Ceiba aesculifolia* y *Tabebuia chrysantha* (**tabla 10**).

*Crax rubra grisea* y *Dasyprocta punctata* estuvieron asociadas de manera importante con las especies arbóreas *Ficus obtusifolia* y *Pouteria campechiana*, en menor medida *Canis lupus familiaris*. *Didelphis marsupialis cozumela* se asoció con *Plumeria obtusa* y *Bursera simaruba*, ambas especies arbóreas ocurrieron frecuentemente en parcelas con vegetación secundaria y con individuos leñosos con valores de DAP pequeños. La paloma *Leptotila jamaicensis* también resultó estar asociadas con especies leñosas de sucesiones tempranas de la selva como lo fueron *Ateleia gummifera*, *Bursera simaruba* y *Metopium brownei*. Mientras que *Pecarí tajacu nanus* presentó una asociación con las especies arbóreas *Ceiba aesculifolia* y *Sideroxylon foetidissimum* y con la distancia a la carretera transversal (**fig. 13**).



**Tabla 10.** Resultados del CCA que incluye todas las especies de vertebrados registradas en el sotobosque en función de sus abundancias relativas en las 60 parcelas de muestreo. Se muestran los valores de las variables explicativas asociadas a los dos primeros ejes del análisis. Se resaltan en negritas las variables con los valores de correlación más altos.

	Eje 1	Eje 2
Valores de los ejes (eigenvalues)	0.132	0.118
Porcentaje acumulado (Cum.Constr.Percentage)	24.806	46.897
Valores de correlación (Spec.- env. correlations)	0.777	0.735
<b>Variables</b>		
<b>Distancia a la carretera transversal (Dist.Carr.Transv.m)</b>	-0.121	<b>0.460</b>
Distancia al borde de la selva (Dist.Origen.Ramal.m)	-0.216	-0.062
Inverso del índice de Simpson (Inv.Simp.q.2)	0.126	-0.060
<b>Ateleia gummifera (Ate.gum.)</b>	0.017	<b>-0.354</b>
<b>Bursera simaruba (Bur.sim.)</b>	0.005	<b>-0.279</b>
<i>Caesalpinia gaumeri</i> (Cae.gau.)	0.075	0.186
<i>Caesalpinia mollis</i> (Cae.mol.)	-0.096	-0.225
<b>Ceiba aesculifolia (Cei.aes.)</b>	<b>-0.275</b>	0.181
<i>Erythroxylon rotundifolium</i> (Ery.rot.)	0.167	0.225
<b>Ficus obtusifolia (Fic.obt.)</b>	0.233	<b>0.251</b>
<i>Guettarda elliptica</i> (Gue.elli.)	0.049	0.220
<i>Lisyloma latisiliquum</i> (Lis.lat.)	0.056	0.224
<b>Metopium brownei (Met.bro.)</b>	0.151	<b>-0.299</b>
Morfoespecie 2 (Msp.2)	0.130	-0.132
<b>Plumeria obtusa (Plu.obt.)</b>	<b>0.253</b>	<b>-0.522</b>
<b>Pouteria campechianum (Pou.cam.)</b>	<b>0.268</b>	<b>0.425</b>
<i>Psidium sartorianum</i> (Psi.sar.)	-0.108	-0.206
<i>Semialarium mexicanum</i> (Sem.mex.)	0.079	-0.209
<b>Sideroxylon foetidissimum (Sid.foe.)</b>	<b>-0.357</b>	-0.148
<b>Tabebuia chrysantha (Tab.chry.)</b>	-0.068	<b>0.304</b>



Vector scaling: 1.78

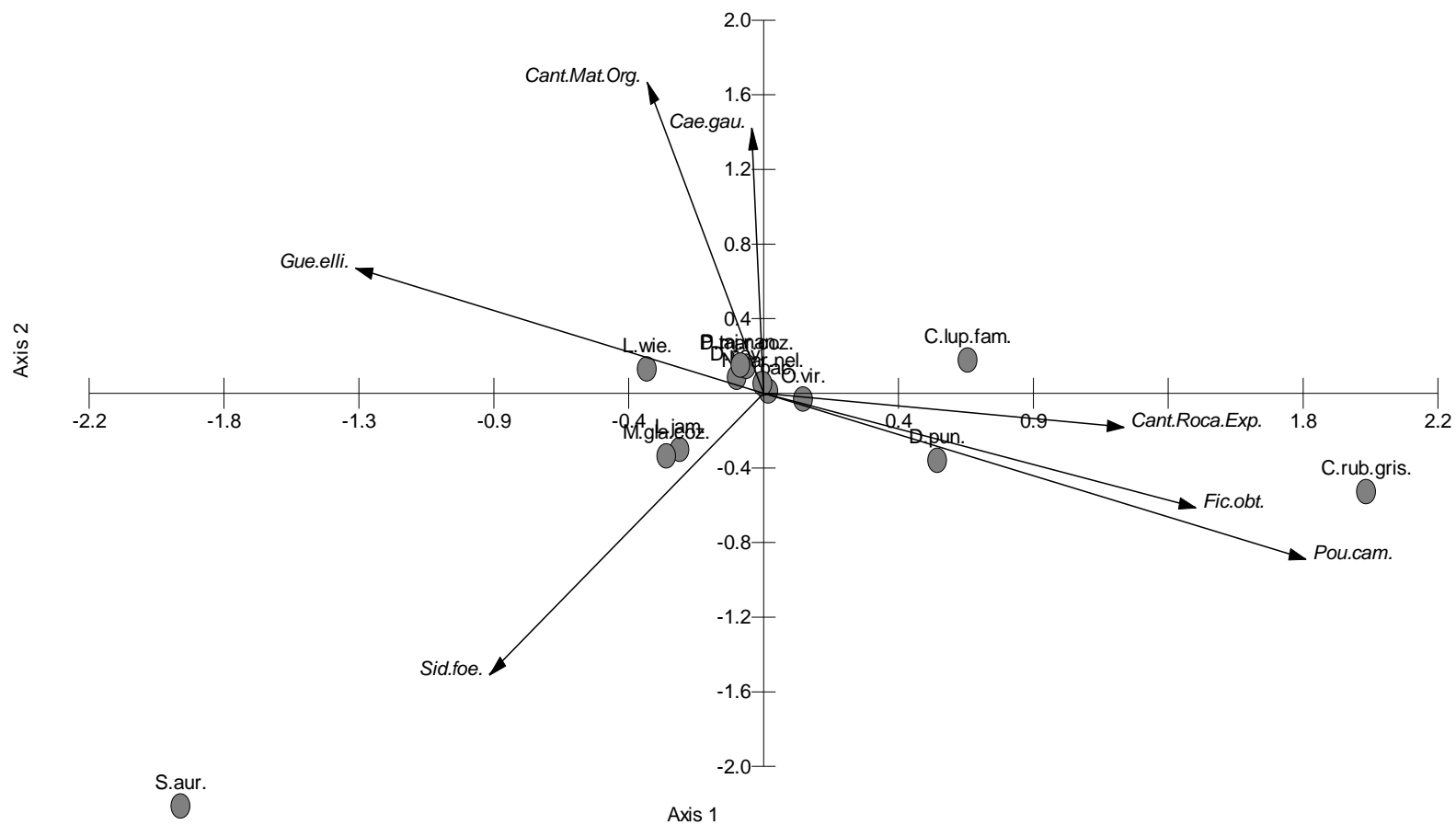
**Figura 13.** Diagrama de ordenación de todas las especies de vertebrados registradas en el sotobosque (óvalos grises) en función de sus abundancias relativas en las 60 parcelas de muestreo. Las principales variables explicativas se representan como flechas vectoriales.

A partir del CCA elaborado con los datos de presencia de las especies de vertebrados registrados en el sotobosque se obtuvo que la cantidad de roca expuesta y la materia orgánica en el suelo, así como las especies leñosas *Caesalpinia gaumeri*, *Ficus obtusifolia*, *Guettarda elliptica*, *Pouteria campechiana* y *Sideroxylon foetidissimum* son las variables que podrían incidir de manera importante en la presencia de estas especies (**tabla 11**).

Este análisis también sugirió que *Crax rubra griscomi* se encuentra muy asociada con la cantidad de roca expuesta y las especies arbóreas *Ficus obtusifolia* y *Pouteria campechiana*; mientras que *Dasyprocta punctata* y *Canis lupus familiaris* en menor medida con estas mismas variables. *Seiurus aurocapilla* respondió de manera importante a la especie arbórea *Sideroxylon foetidissimum* (**fig. 14**).

**Tabla 11.** Resultados del CCA que incluye todas las especies de vertebrados registradas en el sotobosque en función de su presencia en las 60 parcelas de muestreo. Se muestran los valores de las variables explicativas asociadas a los dos primeros ejes del análisis. Se resaltan en negritas las variables con los valores de correlación más altos.

	Eje 1	Eje 2
Valores de los ejes (eigenvalues)	0.119	0.048
Porcentaje acumulado (Cum.Constr.Percentage)	44.924	63.095
Valores de correlación (Spec.- env. correlations)	0.747	0.578
<b>Variables</b>		
<b>Cantidad de roca expuesta (Cant.Roca.Exp.)</b>	<b>0.369</b>	-0.049
<b>Cantidad de materia orgánica (Cant. Mat.Org.)</b>	-0.120	<b>0.365</b>
Distancia al eje de captación contiguo (Dist.Eje.Contig.m)	0.253	-0.049
<b><i>Caesalpinia gaumeri</i> (Cae.gau.)</b>	-0.015	<b>0.328</b>
<b><i>Ficus obtusifolia</i> (Fic.obt.)</b>	<b>0.442</b>	-0.146
<b><i>Guettarda elliptica</i> (Gue.elli.)</b>	<b>-0.415</b>	0.209
<i>Piscidia piscipula</i> (Pis.pis.)	0.265	-0.068
<b><i>Pouteria campechianum</i> (Pou.cam.)</b>	<b>0.556</b>	-0.194
<b><i>Sideroxylon foetidissimum</i> (Sid.foe.)</b>	-0.283	<b>-0.375</b>
<i>Tabebuia chrysantha</i> (Tab.chry.)	0.263	-0.004



Vector scaling: 2.38

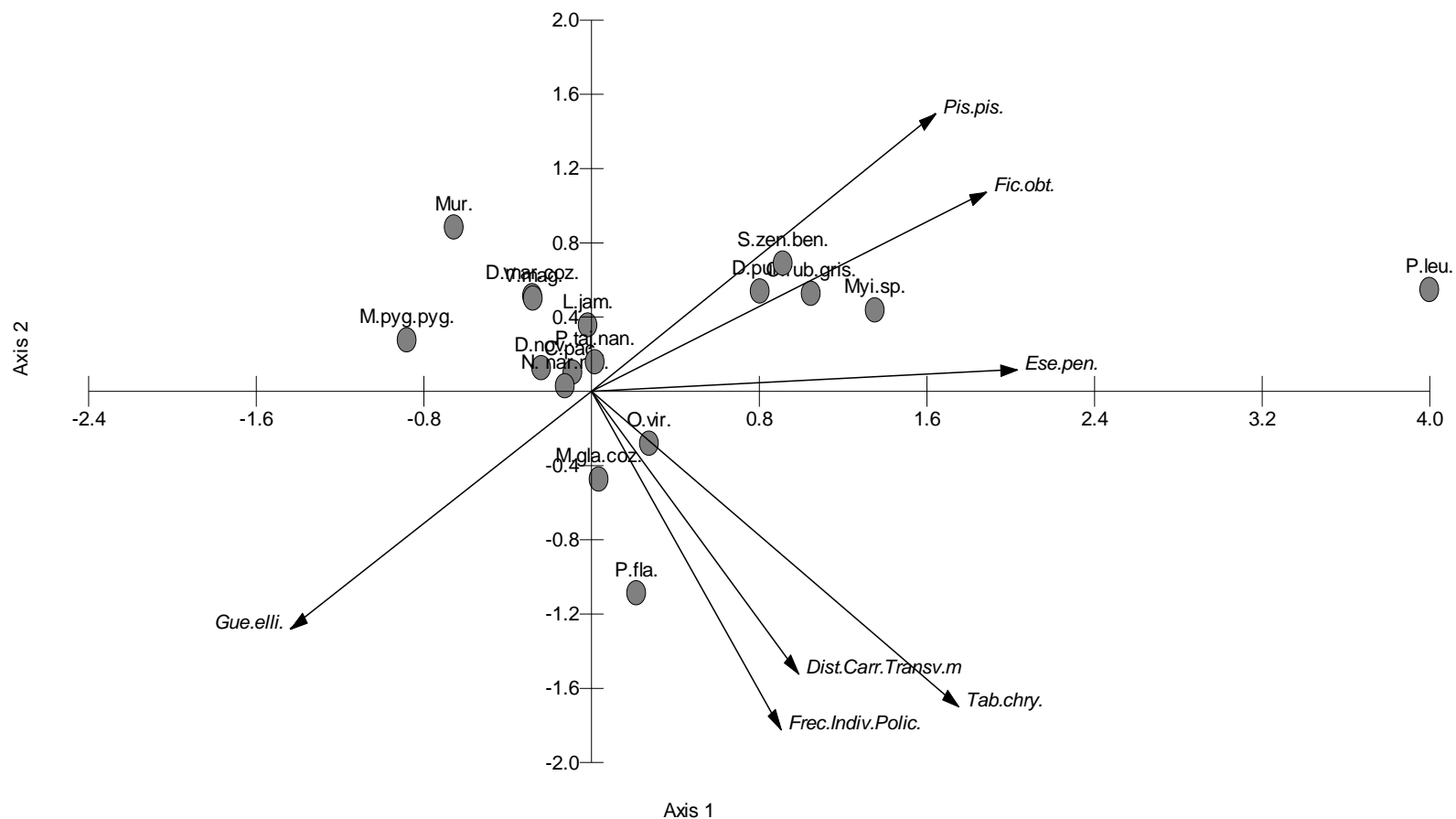
**Figura 14.** Diagrama de ordenación de todas las especies de vertebrados registrados en el sotobosque (óvalos grises) en función de su presencia en las 60 parcelas de muestreo. Las principales variables explicativas se representan como flechas vectoriales.

A partir del CCA ejecutado con los datos de abundancia relativa de todas las especies de vertebrados frugívoros se obtuvo que las principales variables que podrían incidir en la abundancia de estas especies son la distancia a la carretera transversal, la frecuencia de individuos policaulescentes y las especies leñosas *Esenbeckia pentaphylla*, *Ficus obtusifolia*, *Guettarda elliptica*, *Piscidia piscipula* y *Tabebuia chrysantha* (**tabla 12**).

*Crax rubra gricomi*, *Myiarchus* sp., *Spindalis zena benedicti* y *Dasyprocta punctata*, se relacionaron con las especies leñosas *Piscidia piscipula*, *Ficus obtusifolia* y *Esenbeckia pentaphylla*. De manera importante, *Patagioenas leucocephala* se relacionó con las especies leñosas *Ficus obtusifolia* y *Esenbeckia pentaphylla*. Mientras que *Melanoptila glabrirostris cozumelae*, *Potos flavus* y *Odocoileus virginianus* sugieren ser más susceptibles a la distancia a la carretera transversal, a la frecuencia de individuos policaulescentes y a la especie arbórea *Tabebuia chrysantha* (**fig. 15**).

**Tabla 12.** Resultados del CCA que incluye todas las especies de vertebrados frugívoros en función de sus abundancias relativas en las 60 parcelas de muestreo. Se muestran los valores de las variables explicativas asociadas a los dos primeros ejes del análisis. Se resaltan en negritas las variables con los valores de correlación más altos.

	Eje 1	Eje 2
Valores de los ejes (eigenvalues)	0.302	0.254
Porcentaje acumulado (Cum.Constr.Percentage)	33.170	61.019
Valores de correlación (Spec.- env. correlations)	0.880	0.825
<b>Variables</b>		
Cantidad de roca expuesta (Cant.Roca.Exp.)	0.078	0.276
<b>Distancia a la carretera transversal (Dist.Carr.Transv.m)</b>	0.005	<b>-0.370</b>
<b>Frecuencia de individuos policaulescentes (Frec.Indiv.Polic.)</b>	0.089	<b>-0.426</b>
<i>Coccoloba diversifolia</i> (Coc.div.)	-0.039	-0.292
<b><i>Esenbeckia pentaphylla</i> (Ese.pen.)</b>	<b>0.370</b>	0.305
<b><i>Ficus obtusifolia</i> (Fic.obt.)</b>	<b>0.474</b>	0.117
<i>Guettarda combsii</i> (Gue.com.)	0.312	0.095
<b><i>Guettarda elliptica</i> (Gue.elli.)</b>	<b>-0.412</b>	-0.034
<i>Gymnopodium floribundum</i> (Gym.flor.)	-0.276	0.209
<i>Lisyloma latisiliquum</i> (Lis.lat.)	-0.026	-0.307
Morfoespecie 2 (Msp.2)	-0.118	0.299
<b><i>Piscidia piscipula</i> (Pis.pis.)</b>	<b>0.486</b>	0.016
<i>Pouteria campechianum</i> (Pou.cam.)	0.326	0.325
<i>Semialarium mexicanum</i> (Sem.mex.)	0.303	-0.076
<b><i>Tabebuia chrysantha</i> (Tab.chry.)</b>	0.109	<b>-0.527</b>
<i>Vitex gaumeri</i> (Vit.gau.)	-0.133	0.272



Vector scaling: 3.30

**Figura 15.** Diagrama de ordenación de todas las especies de vertebrados frugívoros (óvalos grises) en función de sus abundancias relativas en las 60 parcelas de muestreo. Las principales variables explicativas se representan como flechas vectoriales.

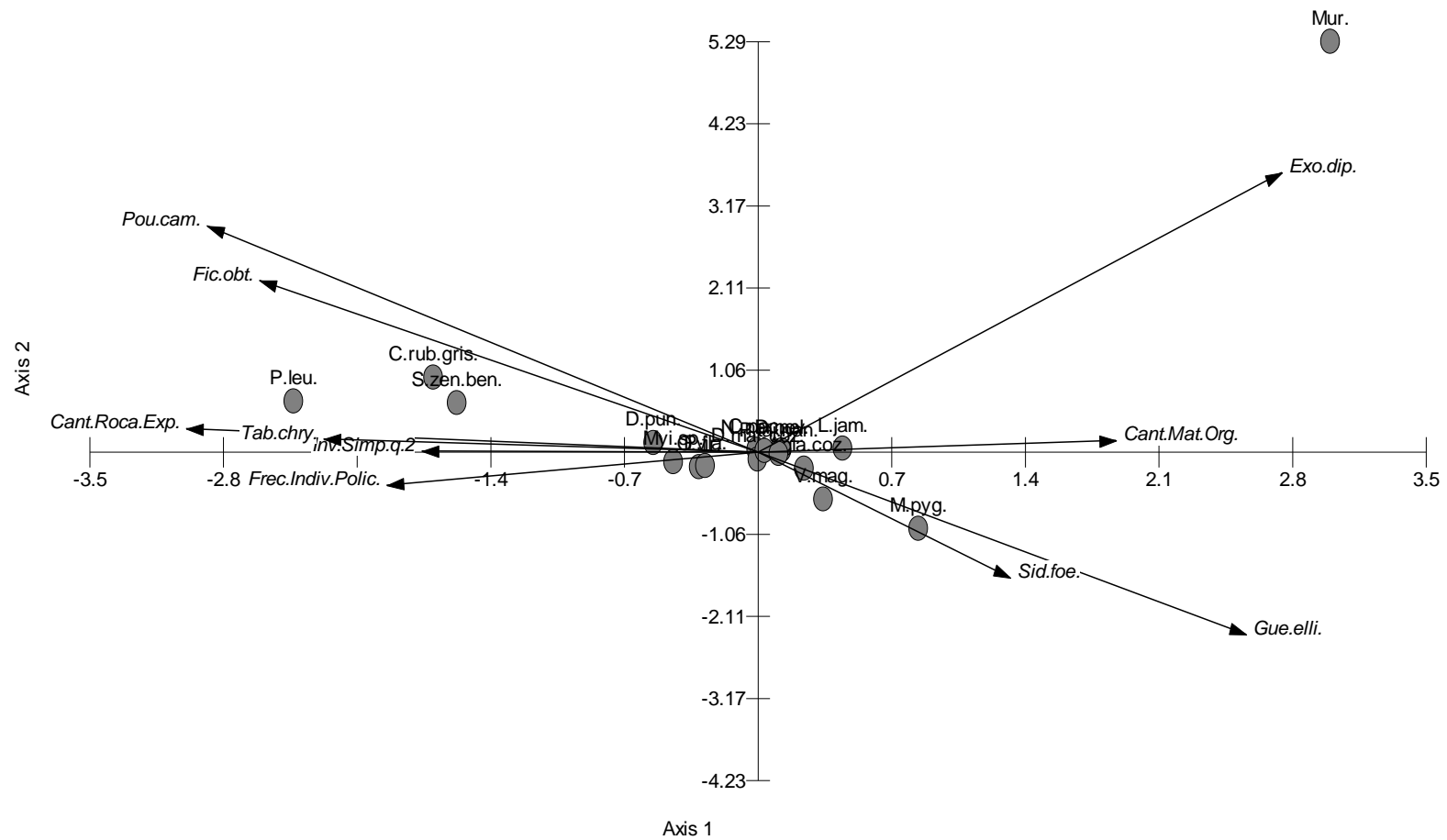
El CCA realizado con los datos de presencia de todas las especies de vertebrados frugívoros registrados sugieren que las principales variables que inciden en la presencia de estas especies son la cantidad de roca expuesta y de materia orgánica en el suelo, la frecuencia de individuos policaulescentes, el inverso del índice de Simpson de las especies leñosas, y las especies leñosas *Exothea diphylla*, *Ficus obtusifolia*, *Guettarda elliptica*, *Pouteria campechiana*, *Sideroxylon foetidissimum* y *Tabebuia chrysantha* (**tabla 13**).

La especie leñosa *Exothea diphylla* resultó ser la variable más importante para la especie de murciélago registrada. Para *Melanerpes pygmaeus pygmaeus* las principales variables que inciden en su presencia son las especies leñosas *Sideroxylon foetidissimum* y *Guettarda elliptica*; mientras que para *Crax rubra griscomi*, *Patagioenas leucocephala* y *Spindalis zena benedicti* lo son las especies leñosas *Pouteria campechiana*, *Ficus obtusifolia* y *Tabebuia chrysantha*; además de la cantidad de roca expuesta en el suelo, la frecuencia de individuos policaulescentes y el inverso del índice de Simpson de las especies leñosas (**fig. 16**).



**Tabla 13.** Resultados del CCA que incluye todas las especies de vertebrados frugívoros en función de su presencia en las 60 parcelas de muestreo. Se muestran los valores de las variables explicativas asociadas a los dos primeros ejes del análisis. Se resaltan en negritas las variables con los valores de correlación más altos.

	Eje 1	Eje 2
Valores de los ejes (eigenvalues)	0.175	0.130
Porcentaje acumulado (Cum.Constr.Percentage)	25.769	44.936
Valores de correlación (Spec.- env. correlations)	0.843	0.785
<b>Variables</b>		
<b>Cantidad de roca expuesta (Cant.Roca.Exp.)</b>	<b>-0.432</b>	0.052
<b>Cantidad de materia orgánica (Cant.Mat.Org.)</b>	<b>0.297</b>	0.103
Distancia al eje de captación contiguo (Dist.Eje.Cont.m)	-0.220	-0.032
<b>Frecuencia de individuos policaulescentes (Frec.Indiv.Polic.)</b>	<b>-0.265</b>	-0.014
<b>Inverso del índice de Simpson (Inv.Simp.q.2)</b>	<b>-0.257</b>	0.030
<i>Bursera simaruba</i> (Bur.sim.)	-0.133	0.148
<i>Caesalpinia gaumeri</i> (Cae.gau.)	0.032	0.185
<i>Caesalpinia mollis</i> (Cae.mol.)	0.026	0.091
<i>Cordia dodecandra</i> (Cor.dod.)	-0.157	-0.255
<b><i>Exothea diphylla</i> (Exo.dip.)</b>	<b>0.376</b>	<b>0.316</b>
<b><i>Ficus obtusifolia</i> (Fic.obt.)</b>	<b>-0.344</b>	0.231
<b><i>Guettarda elliptica</i> (Gue.elli.)</b>	<b>0.359</b>	-0.208
<b><i>Pouteria campechianum</i> (Pou.cam.)</b>	<b>-0.413</b>	0.256
<i>Psidium sartorianum</i> (Psi.sar.)	0.074	0.058
<i>Semialarium mexicanum</i> (Sem.mex.)	-0.209	-0.119
<b><i>Sideroxylon foetidissimum</i> (Sid.foe.)</b>	0.125	<b>-0.424</b>
<b><i>Tabebuia chrysantha</i> (Tab.chry.)</b>	<b>-0.344</b>	0.041



Vector scaling: 5.76

**Figura 16.** Diagrama de ordenación de todas las especies de vertebrados frugívoros (óvalos grises) en función de su presencia en las 60 parcelas de muestreo. Las principales variables explicativas se representan como flechas vectoriales.

En el CCA realizado con datos de abundancias relativas de la fauna frugívora registrada a nivel del dosel las variables distancia de las parcelas a la carretera transversal, distancia de las parcelas al borde de la selva, la distancia de las parcelas al eje de captación de agua contiguo, el inverso del índice de Simpson de las especies leñosas y las especies leñosas *Cordia dodecandra*, *Erythroxylon foetidissimum*, *Esenbeckia pentaphylla*, *Ficus obtusifolia*, *Guettarda combsii*, la morfoespecie 2 y *Pouteria campechiana* resultaron como variables que podrían tener mayor incidencia en la abundancia de los vertebrados frugívoros registrado en dosel (**tabla 14**).

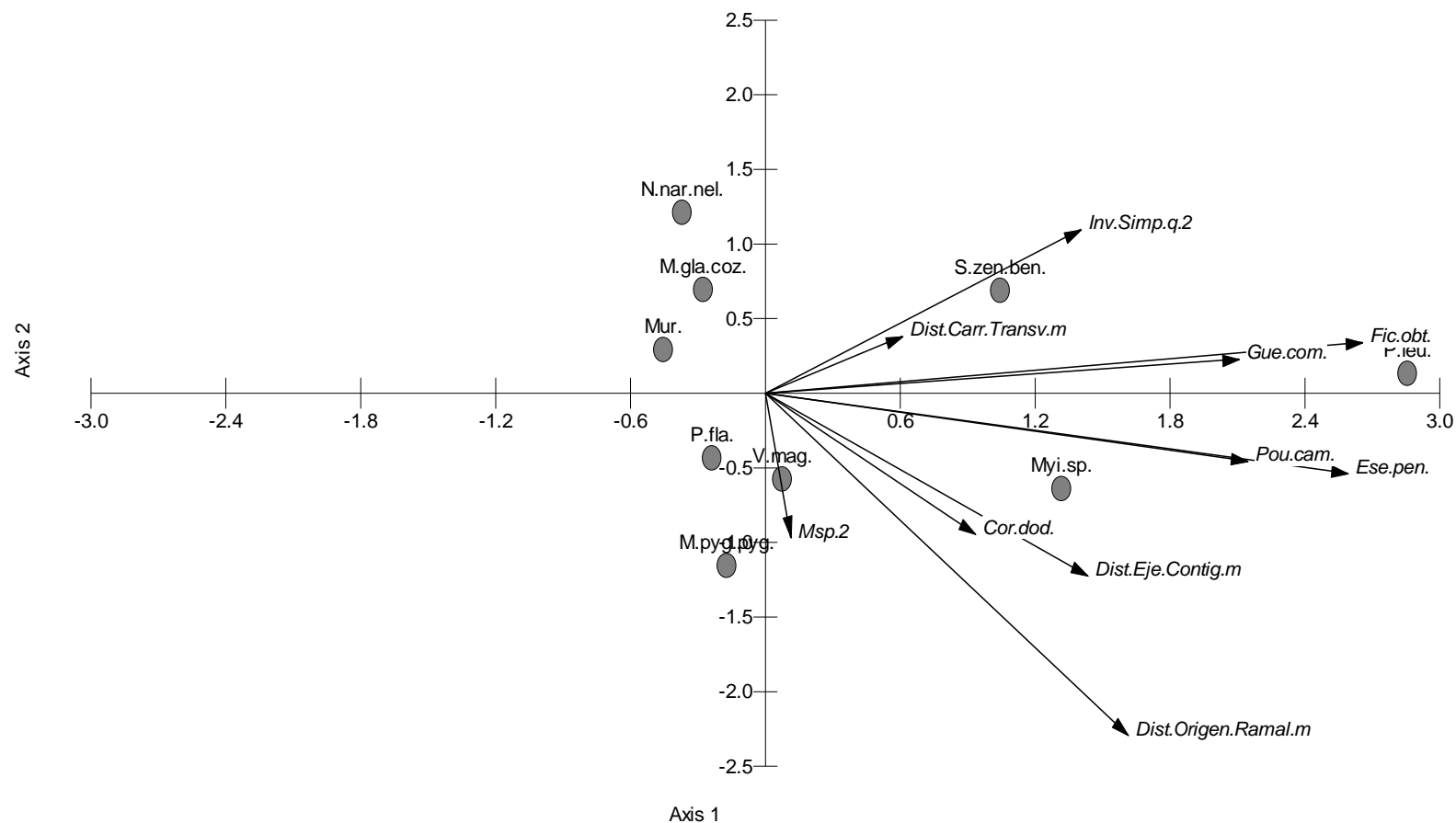
La abundancia relativa de *Spindalis zena benedicti* estuvo más relacionada con la distancia de las parcelas a la carretera transversal y en menor medida con el inverso del índice de Simpson de especies leñosas. Mientras que la abundancia relativa de *Patagioenas leucocephala* estuvo importantemente asociada con *Ficus obtusifolia* y *Esenbeckia pentaphylla*, y en menor medida con *Pouteria campechiana* y *Guettarda combsii*.

*Myiarchus* sp. se relacionó con las especies leñosas *Pouteria campechiana* y *Cordia dodecandra*, aparentemente la distancia de las parcelas al eje de captación de agua contiguo también incide en la abundancia relativa de esta ave.

Las abundancias relativas de *Melanerpes pygmaeus pygmaeus*, *Vireo magister* y *Potos flavus* se asociaron de manera importante con la morfoespecie arbórea 2 (**fig. 17**).

**Tabla 14.** Resultados del CCA que incluye las especies de vertebrados frugívoros registrados a nivel del dosel en función de sus abundancias relativas en las 60 parcelas de muestreo. Se muestran los valores de las variables explicativas asociadas a los dos primeros ejes del análisis. Se resaltan en negritas las variables con los valores de correlación más altos.

	Eje 1	Eje 2
Valores de los ejes (eigenvalues)	0.779	0.564
Porcentaje acumulado (Cum.Constr.Percentage)	33.880	58.397
Valores de correlación (Spec.- env. correlations)	0.955	0.825
<b>Variables</b>		
Cantidad de materia orgánica (Cant.Mat.Org.)	-0.342	0.088
<b>Distancia a la carretera Transversal (Dist.Carr.Transv.)</b>	0.191	<b>0.452</b>
<b>Distancia al borde de la selva (Dist.Origen.Ramal.)</b>	<b>0.391</b>	<b>-0.443</b>
<b>Distancia al eje de captación contiguo (Dist.Eje.Contig.)</b>	<b>0.368</b>	-0.006
<b>Inverso del índice de Simpson (Inv.Simp.q.2)</b>	<b>0.381</b>	0.033
<i>Byrsonima bucidaefolia</i> (Byr.buc.)	-0.180	-0.061
<i>Caesalpinia gaumeri</i> (Cae.gau.)	-0.338	-0.196
<b><i>Cordia dodecandra</i> (Cor.dod.)</b>	0.214	<b>-0.391</b>
<i>Erythroxylon rotundifolium</i> (Ery.rot.)	-0.353	0.084
<b><i>Esenbeckia pentaphylla</i> (Ese.pen.)</b>	<b>0.686</b>	-0.006
<b><i>Ficus obtusifolia</i> (Fic.obt.)</b>	<b>0.717</b>	0.050
<b><i>Guettarda combsii</i> (Gue.com.)</b>	<b>0.569</b>	0.023
<b>Morfoespecie 2 (Msp.2)</b>	0.041	<b>-0.358</b>
<b><i>Pouteria campechiana</i> (Pou.cam.)</b>	<b>0.573</b>	-0.089
<i>Semialarium mexicanum</i> (Sem.mex.)	0.341	-0.024
<i>Sideroxylon foetidissimum</i> (Sid.foe.)	0.249	0.285



Vector scaling: 3.41

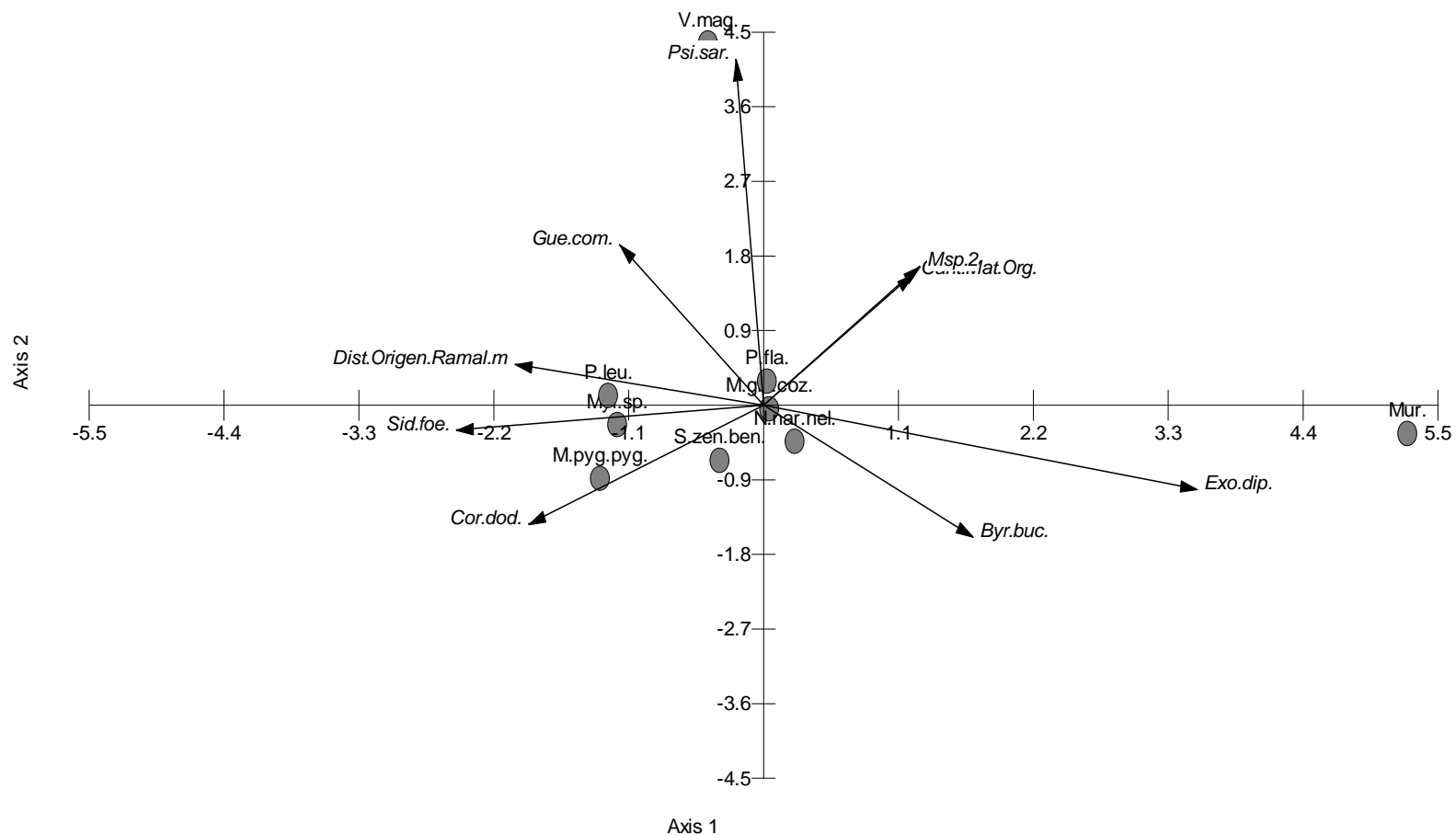
**Figura 17.** Diagrama de ordenación de las especies de vertebrados frugívoros registradas a nivel del dosel (óvalos grises) en función de sus abundancias relativas en las 60 parcelas de muestreo. Las principales variables explicativas se representan como flechas vectoriales.

Derivado del CCA realizado con los datos de presencia de las especies de vertebrados frugívoros registradas a nivel del dosel, se obtuvo que las variables que podrían estar incidiendo de manera significativa son la cantidad de materia orgánica en el suelo, la distancia de las parcelas al borde de la selva y las especies leñosas *Byrsonima bucidaefolia*, *Cordia dodecandra*, *Exothea diphylla*, *Guettarda combsii*, la morfoespecie 2, *Psidium sartorianum* y *Sideroxylon foetidissimum* (**tabla 15**).

*Vireo magister* se relacionó de manera importante con la especie *Psidium sartorianum*. Esta fue de las especies leñosas que se registró con poca frecuencia y las parcelas en las que estuvo presente la especie se ubicaron alejadas de la carretera transversal y en ejes secundarios de captación de agua donde es menos frecuente el demonte de los caminos para su mantenimiento y acceso a las bombas de extracción de agua. La presencia de la especie de murciélago registrada resultó estar asociada con la especie leñosa *Exothea diphylla*. Para *Patagioenas leucocephala*, *Melanerpes pygmaeus pygmaeus* y *Myiarchus* sp. fueron importantes las variables de distancia de las parcelas al borde de la selva y las especies leñosas *Cordia dodecandra* y *Sideroxylon foetidissimum*. Es importante mencionar que *Patagioenas leucocephala* fue registrada alimentándose de manera frecuente de los frutos de *Sideroxylon foetidissimum*, no se registró alimentándose de ninguna de las otras tres especies arbóreas focales (**fig. 18**).

**Tabla 15.** Resultados del CCA que incluye las especies de vertebrados frugívoros registradas en el dosel en función de su presencia en las 60 parcelas de muestreo. Se muestran los valores de las variables explicativas asociadas a los dos primeros ejes del análisis. Se resaltan en negritas las variables con los valores de correlación más altos.

	Eje 1	Eje 2
Valores de los ejes (eigenvalues)	0.801	0.593
Porcentaje acumulado (Cum.Constr.Percentage)	25.581	44.499
Valores de correlación (Spec.- env. correlations)	0.917	0.783
<b>Variables</b>		
<b>Cantidad de materia orgánica (Cant.Mat.Org.)</b>	<b>0.235</b>	0.126
Distancia a la carretera transversal (Dist.Carr.Transv.m)	0.181	0.036
<b>Distancia al borde de la selva (Dist.Origen.Ramal.m)</b>	<b>-0.226</b>	0.098
Distancia al eje de captación de agua contiguo (Dist.Eje.Contig.m)	-0.092	0.171
Riqueza de especies (Riq.Sp.S.q.0)	0.019	0.091
Dominancia (Inv.Simp.q.2)	-0.120	0.025
<b><i>Byrsonima bucidaefolia</i> (Byr.buc.)</b>	<b>0.205</b>	<b>-0.224</b>
<i>Caesalpinia gaumeri</i> (Cae.gau.)	0.116	0.129
<i>Caesalpinia mollis</i> (Cae.mol.)	0.009	0.036
<b><i>Cordia dodecandra</i> (Cor.dod.)</b>	<b>-0.272</b>	-0.014
<i>Erythroxylon rotundifolium</i> (Ery.rot.)	0.030	0.081
<i>Esenbeckia pentaphylla</i> (Ese.pen.)	-0.102	0.033
<b><i>Exothea diphylla</i> (Exo.dip.)</b>	<b>0.505</b>	<b>-0.237</b>
<i>Ficus obtusifolia</i> (Fic.obt.)	0.077	0.158
<b><i>Guettarda combsii</i> (Gue.com.)</b>	-0.051	<b>0.291</b>
<i>Lisyloma latisiliquum</i> (Lis.lat.)	0.109	-0.188
<b>Morfoespecie 2 (Msp.2)</b>	<b>0.226</b>	0.108
<i>Pouteria campechianum</i> (Pou.cam.)	0.084	-0.097
<b><i>Psidium sartorianum</i> (Psi.sar.)</b>	-0.124	<b>0.522</b>
<i>Semialarium mexicanum</i> (Sem.mex.)	-0.143	-0.053
<b><i>Sideroxylon foetidissimum</i> (Sid.foe.)</b>	<b>-0.303</b>	-0.067
<i>Tabebuia chrysantha</i> (Tab.chry.)	-0.113	-0.046
<i>Trichilia hirta</i> (Tri.hir.)	0.174	0.077



Vector scaling: 5.66

**Figura 18.** Diagrama de ordenación de las especies de vertebrados frugívoros registradas a nivel del dosel (óvalos grises) en función de su presencia en las 60 parcelas de muestreo. Las principales variables explicativas se representan como flechas vectoriales.

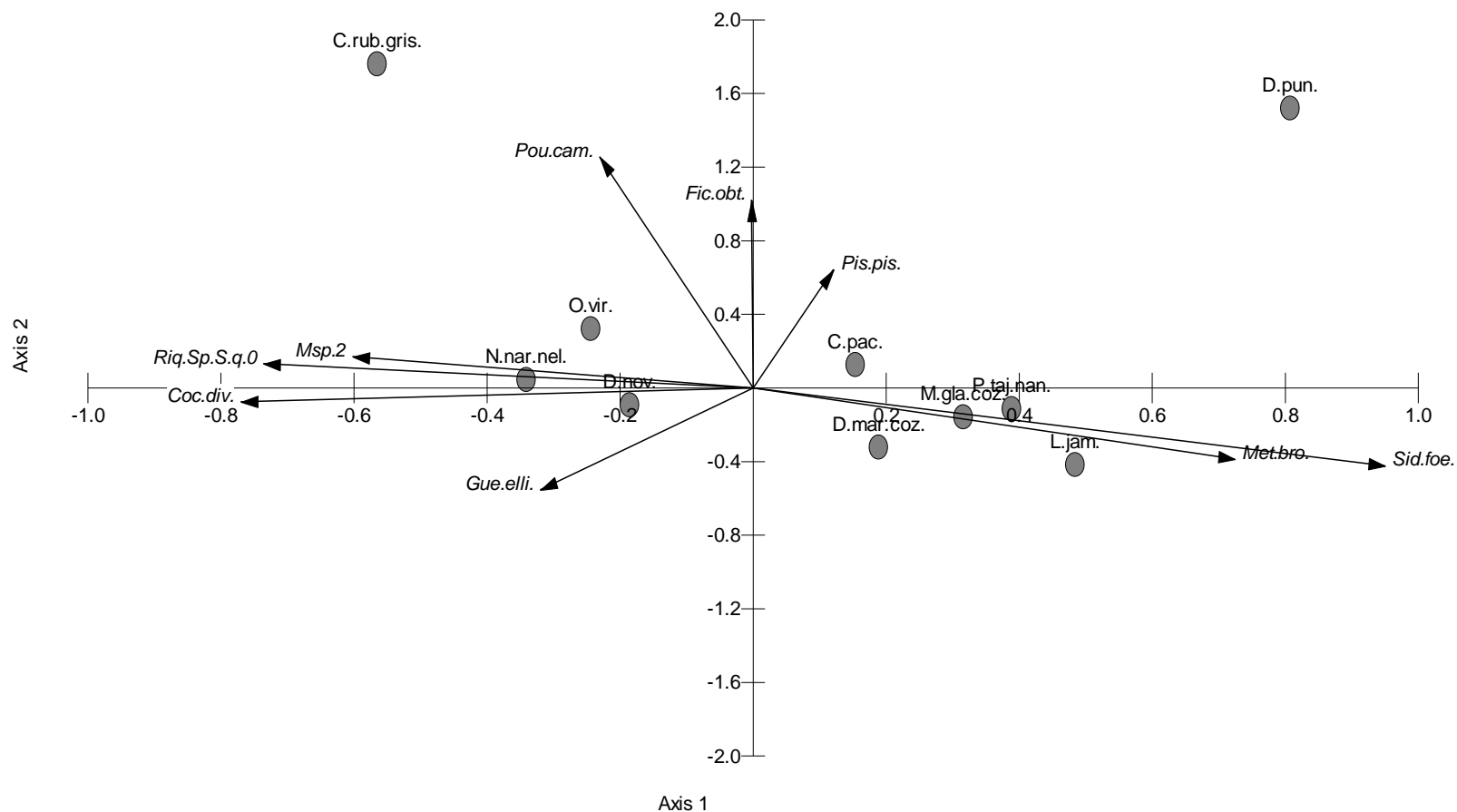


De acuerdo con el CCA realizado con las abundancias relativas de las especies frugívoras registradas en el sotobosque, la riqueza de especies leñosas y las especies morfoespecie 2, *Pouteria campechiana*, *Sideroxylon foetidissimum*, *Piscidia piscipula*, *Sideroxylon foetidissimum*, *Metopium brownei*, *Ficus obtusifolia*, *Guettarda elliptica* y *Coccoloba diversifolia* fueron las variables con mayor incidencia (**tabla 16**).

*Leptotila jamaicensis*, *Melanoptila glabrirostris cozumelae*, *Didelphis marsupialis cozumelae*, *Pecari tajacu nanus*, *Dasyprocta punctata* y *Cuniculus paca* se asociaron de manera importante con las variables *Metopium brownei*, *Piscidia piscipula* y *Sideroxylon foetidissimum*. Mientras que *Crax rubra griscomi*, *Dasypus novemcinctus*, *Nasua narica nelsoni* y *Odocoileus virginianus* lo hicieron con *Pouteria campechiana*, morfoespecie 2, *Coccoloba diversifolia*, *Guettarda elliptica*, y con la riqueza de especies leñosas. La variable *Ficus obtusifolia* se asoció con ambos grupos de especies (**fig. 19**).

**Tabla 16.** Resultados del CCA que incluye las especies de vertebrados frugívoros registradas en el sotobosque en función de sus abundancias relativas en las 60 parcelas de muestreo. Se muestran los valores de las variables asociadas a los dos primeros ejes del análisis. Se resaltan en negritas las variables con los valores de correlación más altos.

	Eje 1	Eje 2
Valores de los ejes (eigenvalues)	0.126	0.098
Porcentaje acumulado (Cum.Constr.Percentage)	29.557	52.630
Valores de correlación (Spec.- env. correlations)	0.773	0.725
<b>Variables</b>		
Cantidad de materia orgánica (Cant.Mat.Org.)	-0.211	-0.117
Distancia a la carretera transversal (Dist.Carr.Transv.)	-0.119	0.204
Distancia al origen del eje secundario (Dist.Origen.Ramal.)	0.183	0.004
<b>Riqueza de especies (Riq.Sp.S.q.0)</b>	<b>-0.345</b>	0.005
<i>Caesalpinia gaumeri</i> (Cae.gau.)	-0.165	-0.246
<b><i>Coccoloba diversifolia</i> (Coc.div.)</b>	<b>-0.342</b>	-0.055
<i>Erythroxylum rotundifolium</i> (Ery.rot.)	-0.126	-0.144
<b><i>Ficus obtusifolia</i> (Fic.obt.)</b>	-0.065	<b>0.446</b>
<b><i>Guettarda elliptica</i> (Gue.elli.)</b>	-0.112	<b>-0.256</b>
<b><i>Metopium brownei</i> (Met.bro.)</b>	<b>0.356</b>	-0.099
<b>Morfoespecie 2 (Sp.2)</b>	<b>-0.279</b>	0.030
<b><i>Piscidia piscipula</i> (Pis.pis.)</b>	0.005	<b>0.297</b>
<b><i>Pouteria campechianum</i> (Pou.cam.)</b>	-0.185	<b>0.526</b>
<b><i>Sideroxylon foetidissimum</i> (Sid.foe.)</b>	<b>0.436</b>	-0.103
<i>Tabebuia chrysantha</i> (Tab.chry.)	0.017	0.220
<i>Thevetia gaumeri</i> (The.gau.)	0.208	-0.149



Vector scaling: 1.62

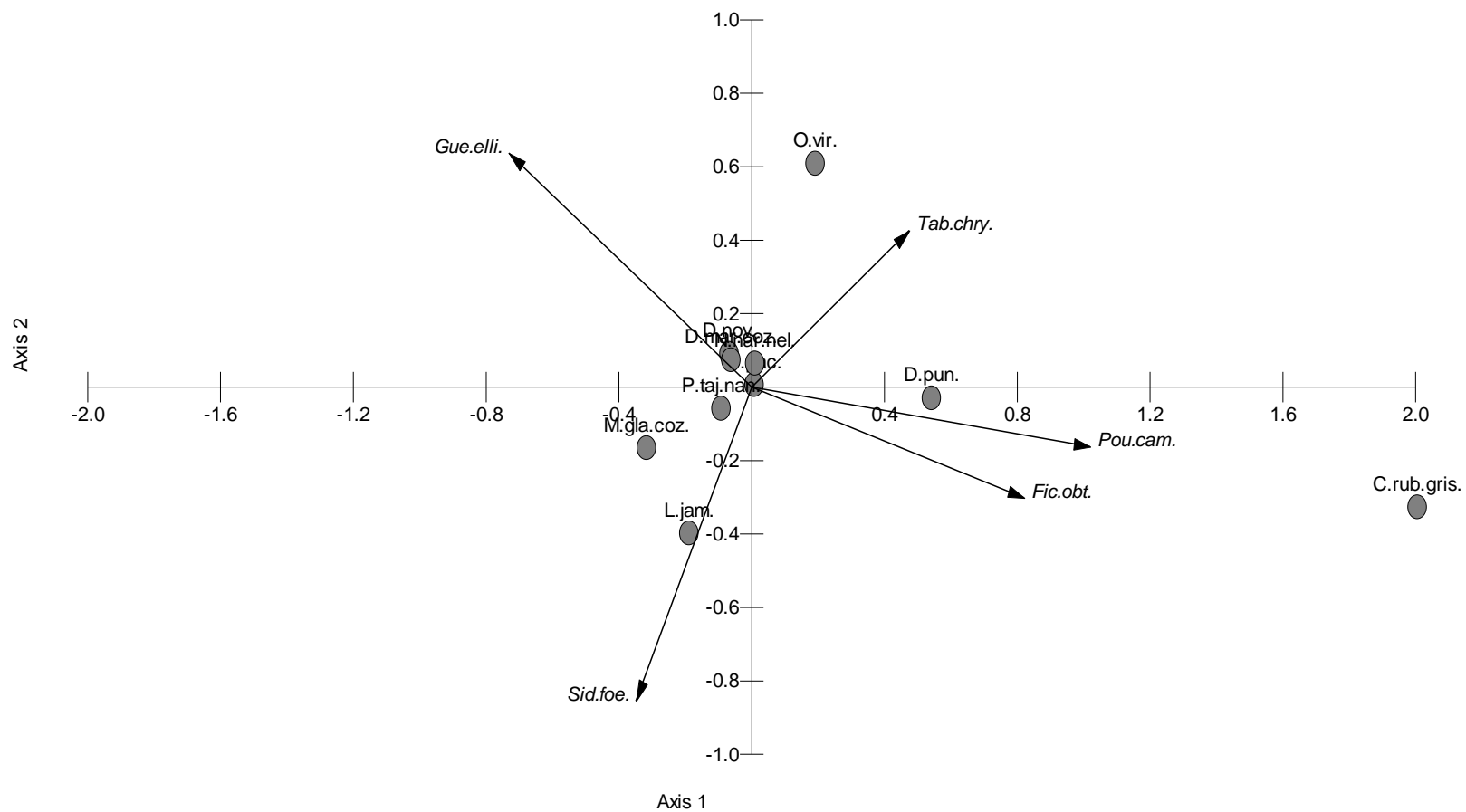
**Figura 19.** Diagrama de ordenación de las especies de vertebrados frugívoros registradas a nivel del sotobosque (óvalos grises) en función de sus abundancias relativas en las 60 parcelas de muestreo. Las principales variables explicativas se representan como flechas vectoriales.

A partir del CCA donde se emplearon los datos de presencia de las especies de vertebrados frugívoros registrados en el sotobosque fue posible determinar que las especies leñosas *Ficus obtusifolia*, *Guettarda elliptica*, *Pouteria campechiana*, *Sideroxylon foetidissimum* y *Tabebuia chrysantha* podrían ser las principales variables explicativas (**tabla 17**).

*Crax rubra griscomi* y *Dasyprocta punctata* parecieron responder a las especies *Ficus obtusifolia* y *Pouteria campechiana* de manera importante. La presencia de *Odocoileus virginianus* se asoció con las especies leñosas *Tabebuia chrysantha* y *Guettarda elliptica*. La variable *Sideroxylon foetidissimum* resultó estar asociada con las aves *Leptotila jamaicensis* y *Melanoptila glabrirostris cozumeale* (**fig. 20**).

**Tabla 17.** Resultados del CCA que incluye las especies de vertebrados frugívoros registradas en el sotobosque en función de su presencia en las 60 parcelas de muestreo. Se muestran los valores de las variables explicativas asociadas a los dos primeros ejes del análisis. Se resaltan en negritas las variables con los valores de correlación más altos.

	Eje 1	Eje 2
Valores de los ejes (eigenvalues)	0.106	0.049
Porcentaje acumulado (Cum.Constr.Percentage)	38.145	55.534
Valores de correlación (Spec.- env. correlations)	0.732	0.637
<b>Variables</b>		
Cantidad de materia orgánica (Cant.Mat.Org.)	-0.234	0.227
Distancia a la carretera transversal (Dist.Carr.Transv.)	0.203	0.077
Distancia al origen del eje secundario (Dist.Origen.Ramal.)	-0.040	-0.074
Riqueza de especies (Riq.Sp.S.q.0)	0.119	0.147
<i>Caesalpinia gaumeri</i> (Cae.gau.)	-0.071	0.220
<i>Coccoloba diversifolia</i> (Coc.div.)	0.196	0.197
<i>Erythroxylum rotundifolium</i> (Ery.rot.)	-0.189	0.090
<b><i>Ficus obtusifolia</i> (Fic.obt.)</b>	<b>0.456</b>	0.014
<b><i>Guettarda elliptica</i> (Gue.elli.)</b>	<b>-0.395</b>	0.194
<i>Metopium brownei</i> (Met.bro.)	-0.035	-0.070
Morfoespecie 2 (Sp.2)	0.084	0.155
<i>Piscidia piscipula</i> (Pis.pis.)	0.236	-0.128
<b><i>Pouteria campechianum</i> (Pou.cam.)</b>	<b>0.561</b>	-0.146
<b><i>Sideroxylon foetidissimum</i> (Sid.foe.)</b>	-0.185	<b>-0.330</b>
<b><i>Tabebuia chrysantha</i> (Tab.chry.)</b>	<b>0.263</b>	0.002
<i>Thevetia gaumeri</i> (The.gau.)	-0.110	0.051



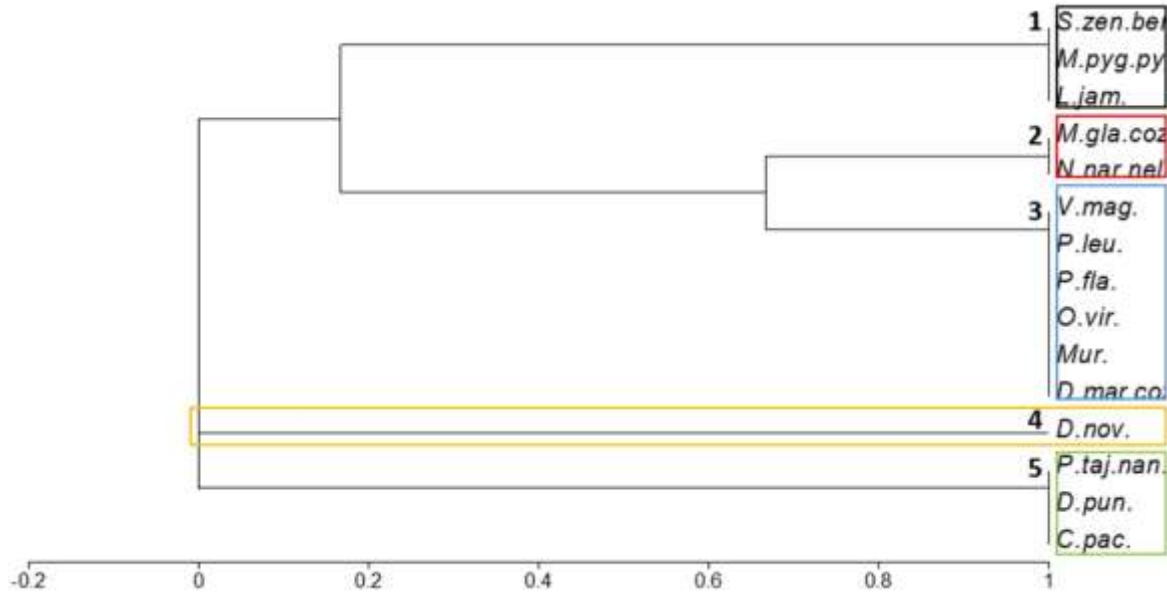
Vector scaling: 1.23

**Figura 20.** Diagrama de ordenación de las especies de vertebrados frugívoros registradas a nivel del sotobosque (óvalos grises) en función de su presencia en las 60 parcelas de muestreo. Las principales variables explicativas se representan como flechas vectoriales.

### Frugivoría y dispersión de semillas

El análisis de conglomerados realizado con las especies frugívoras que se registraron consumiendo frutos en función de la forma de consumo agrupó a las especies de fauna en cinco grupos.

El primero (recuadro negro, **fig. 21**) estuvo integrado por *Leptotila jamaicensis*, *Melanerpes pygmaeus pygmaeus* y *Spindalis zena benedicti* como especies consumidoras de pulpa de los frutos de las especies arbóreas focales. Las especies que conformaron el segundo grupo (recuadro rojo, **fig. 21**) fueron *Melanoptila glabrirostris cozumelae* y *Nasua narica nelsoni*. Estas especies aprovecharon la pulpa y el fruto completo de manera diferencial de acuerdo con la especie arbórea; es decir, *Melanoptila glabrirostris cozumelae* consumió la pulpa de los frutos de *Manilkara zapota* y los frutos completos de *Metopium brownei*; mientras que *Nasua narica nelsoni* consumió los frutos completos de *Manilkara zapota*, *Sideroxylon foetidissimum* y *Metopium brownei*, y sólo la pulpa de los frutos de *Vitex gaumeri*. *Patagioenas leucocephala*, *Vireo magister*, *Didelphis marsupialis cozumelae*, la especie de murciélago, *Potos flavus* y *Odocoileus virginianus* se agruparon como especies que se alimentaron de los frutos completos (recuadro azul, **fig. 21**). *Dasypus novemcinctus* se presentó de manera aislada como un consumidor de frutos de *Manilkara zapota* no definido (recuadro amarillo, **fig. 21**), pues no fue posible determinar la parte del fruto de la cual se alimentó. *Pecari tajacu nanus*, *Cuniculus paca* y *Dasyprocta punctata* se agruparon como especies depredadoras de las semillas de los frutos que consumieron (recuadro verde, **figura 21**).



**Figura 21.** Dendrograma de similitud mediante el coeficiente de similitud de Sorensen y el algoritmo UPGMA elaborado en función de la parte de los frutos consumida de *Manilkara zapota*, *Sideroxylon foetidissimum*, *Vitex gaumeri* y *Metopium brownei* por los vertebrados frugívoros de la selva mediana subcaducifolia de isla Cozumel. Se resalta con recuadros y números los grupos de especies consumidoras de pulpa, del fruto completo, no definidas y depredadoras de semillas.

Los resultados obtenidos a partir de este CCA permitieron la categorización de las especies de vertebrados frugívoros en función del uso diferencial que hacen de los frutos de las especies arbóreas *Manilkara zapota*, *Sideroxylon foetidissimum*, *Vitex gaumeri* y *Metopium brownei*. Fue posible identificar cuatro grupos de especies frugívoras: frugívoros que consumen sólo la pulpa de los frutos, frugívoros que consumen los frutos completos, frugívoros que depredan las semillas y frugívoros que no fue posible identificar la parte del fruto que consumieron; esto se resume en la **tabla 18**.



**Tabla 18.** Categorización de las especies de vertebrados frugívoros con base en el uso registrado del recurso fruto de las especies arbóreas focales.

Especie	Sólo pulpa	Fruto completo	Depredador de semillas	No definido
<i>Leptotila jamaicensis</i>	<i>M. zapota</i>			
<i>Patagioenas leucocephala</i>		S. <i>foetidissimum</i>		
<i>Melanerpes pygmaeus pygmaeus</i>	<i>M. zapota</i>			
<i>Vireo magister</i>		<i>M. brownei</i>		
<i>Melanoptila glabrirostris cozumelae</i>	<i>M. zapota</i>	<i>M. brownei</i>		
<i>Spindalis zena benedicti</i>	<i>M. zapota</i>			
<i>Didelphis marsupialis cozumelae</i>		<i>M. zapota, V. gaumeri, M. brownei</i>		
<i>Dasyopus novemcinctus</i>				<i>M. zapota</i>
Murciélago		<i>M. zapota</i>		
<i>Potos flavus</i>		<i>M. zapota, S. foetidissimum, V. gaumeri</i>		
<i>Nasua narica nelsoni</i>	<i>V. gaumeri</i>	<i>M. zapota, S. foetidissimum, M. brownei</i>		
<i>Odocoileus virginianus</i>		<i>M. brownei</i>		
<i>Pecari tajacu nanus</i>			<i>M. zapota, S. foetidissimum, V. gaumeri, M. brownei</i>	
<i>Cuniculus paca</i>			<i>M. zapota, S. foetidissimum, V. gaumeri, M. brownei</i>	
<i>Dasyprocta punctata</i>		S. <i>foetidissimum</i>		

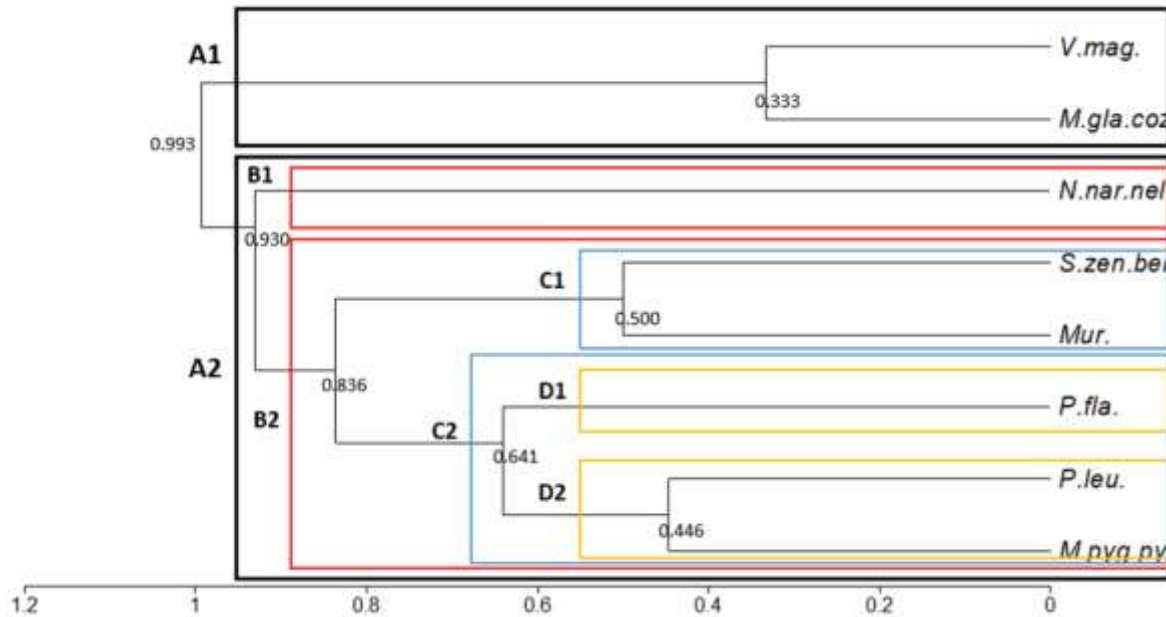
En el análisis de conglomerados de las especies de vertebrados frugívoros registrados a nivel de dosel se obtuvieron dos grupos principales. El primero (A1; **fig. 22**) está integrado por *Vireo magister* y *Melanoptila glabrirostris cozumeale*, los cuales se agrupan por ser especies que se registraron consumiendo únicamente los frutos de *Metopium brownei*.

En el segundo grupo (A2; **fig. 22**) se encuentran especies que consumen más de una especie de frutos de las cuatro especies arbóreas focales y se divide en dos subgrupos: B1 y B2.

El subgrupo B1, está integrado sólo por *Nasua narica nelsoni* que fue la única especie que se registró consumiendo los frutos de *Manilkara zapota*, *Vitex gaumeri* y *Metopium brownei* a nivel del dosel. El subgrupo B2, estuvo conformado por las especies *Patagioenas leucocephala*, *Melanerpes pygmaeus pygmaeus*, *Spindalis zena benedicti*, la especie de murciélago y *Potos flavus* las cuales consumen los frutos de las especies arbóreas focales *Manilkara zapota*, *Sideroxylon foetidissimum* y/o *Vitex gaumeri*, pero no de *Metopium brownei*. Este subgrupo B2 se divide en dos grupos: C1 y C2.

Las especies *Spindalis zena benedicti* y la especie de murciélago integran al grupo C1 y comparten la característica de consumir únicamente frutos de *Manilkara zapota* a nivel del dosel. El grupo C2 agrupa a *Patagioenas leucocephala*, *Melanerpes pygmaeus pygmaeus* y *Potos flavus* como consumidores de frutos de más de una de las especies arbóreas focales *Manilkara zapota*, *Sideroxylon foetidissimum* y/o *Vitex gaumeri*. El grupo C2 se divide en los subgrupos D1 y D2.

Al subgrupo D1 lo conforma *Potos flavus* que fue la única especie registrada consumiendo los frutos de *Manilkara zapota*, *Sideroxylon foetidissimum* y *Vitex gaumeri*. En comparación, las especies del subgrupo D2: *Patagioenas leucocephala* y *Melanerpes pygmaeus pygmaeus* se registró que consumen los frutos de solamente dos de estas tres especies: *Manilkara zapota* y *Sidroxylon foetidissimum*.



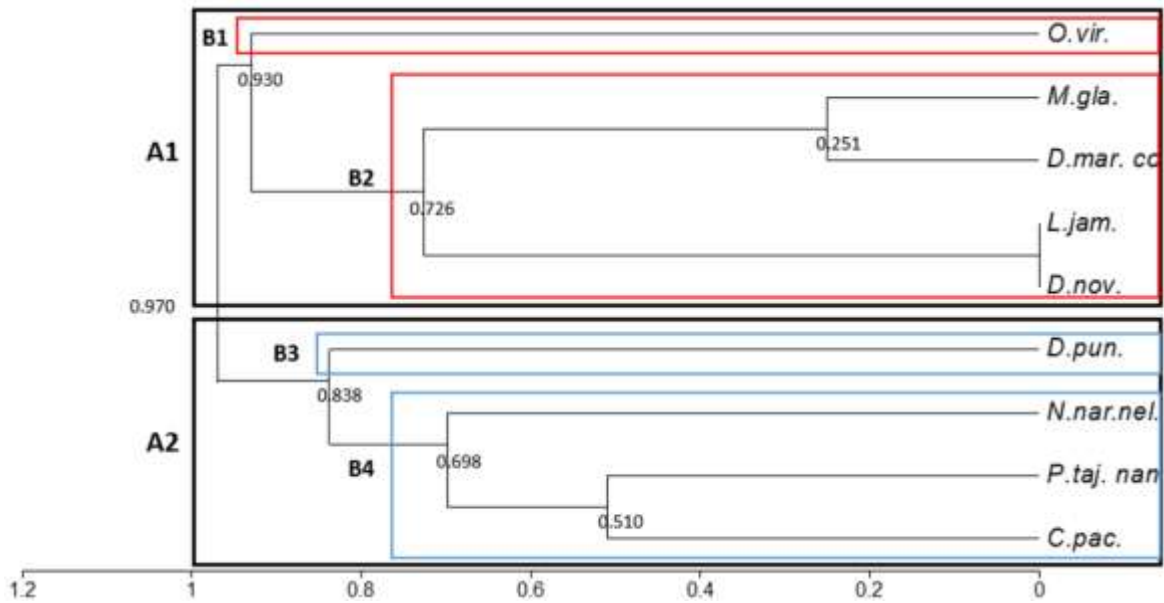
**Figura 22.** Dendrograma de disimilitud mediante el coeficiente de disimilitud de Bray-Curtis y el algoritmo UPGMA elaborado en función de la frecuencia de consumo de los frutos de *Manilkara zapota*, *Sideroxylon foetidissimum*, *Vitex gaumeri* y *Metopium brownei* por los vertebrados frugívoros registrados en el dosel de la selva mediana subcaducifolia de isla Cozumel. Las especies agrupadas de acuerdo con la especie o especies de frutos que consumieron se señalan con recuadros de colores y las letras mayúsculas A, B, C y D, seguidas por números consecutivos.

A partir del análisis de conglomerados de la fauna frugívora registrada a nivel del sotobosque resultaron dos grupos principales (A1 y A2; **fig. 23**). El grupo A1 se dividió en los subgrupos B1 y B2.

El subgrupo B1 estuvo compuesto sólo por *Odocoileus virginianus* que fue registrada consumiendo únicamente los frutos de *Metopium brownei*. El subgrupo B2 estuvo integrado por *Leptotila jamaicensis*, *Melanoptila glabrirostris cozumelae*, *Didelphis marsupialis cozumelae* y *Dasypus novemcintus*. Estas especies compartieron la característica de consumir los frutos de una o más de las especies arbóreas focales *Manilkara zapota*, *Vitex gaumeri* y/o *Metopium brownei*.

El grupo A2 se dividió en dos subgrupos: B3 y B4. El subgrupo B3 estuvo constituido sólo por *Dasyprocta punctata* que fue registrada alimentándose únicamente de los frutos de *Sideroxylon foetidissimum*; mientras que el subgrupo B4, conformado por

*Nasua narica nelsoni*, *Pecari tajacu nanus* y *Cuniculus paca* se definió por incluir especies que consumieron los frutos de las cuatro especies focales.



**Figura 23.** Dendrograma de disimilitud mediante el coeficiente de disimilitud de Bray-Curtis y el algoritmo UPGMA. Elaborado en función de la frecuencia de consumo de los frutos de *Manilkara zapota*, *Sideroxylon foetidissimum*, *Vitex gaumeri* y *Metopium brownei* por los vertebrados frugívoros registrados en el sotobosque de la selva mediana subcaducifolia de isla Cozumel. Las especies agrupadas de acuerdo con la especie o especies de frutos que consumieron se señalan con recuadros de colores y las letras mayúsculas A y B, seguidas por números consecutivos.

## DISCUSIÓN

### Especies arbóreas focales y composición de la comunidad leñosa

La fenología de fructificación de las especies *Manilkara zapota*, *Sideroxylon foetidissimum*, *Vitex gaumeri* y *Metopium brownei* (tabla 19) observada en campo difirió ligeramente con lo que se registra en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) para las mismas especies en la península de Yucatán (Herbario CICY 2010). Sin embargo, las observaciones hechas durante un solo año no son suficientes para establecer patrones en la fenología de fructificación de las especies vegetales de acuerdo con Wallace y Painter (2003), pues la fructificación varía con las condiciones estacionales entre un año y otro, las condiciones ambientales como nutrientes del suelo, cantidad de radiación solar, humedad del suelo e inclusive la edad del individuo (Gandolfo 2008).

**Tabla 19.** Períodos de fructificación de las especies arbóreas focales reportados para la península de Yucatán (Herbario CICY 2010) y los registrados en la isla Cozumel de enero a octubre de 2018.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b><i>Manilkara zapota</i></b>												
Península de Yucatán	■	■	■	■								■
Isla Cozumel	■	■	■	■	■	■						
<b><i>Sideroxylon foetidissimum</i></b>												
Península de Yucatán			■									
Isla Cozumel	■	■	■	■	■							
<b><i>Vitex gaumeri</i></b>												
Península de Yucatán							■	■	■	■	■	■
Isla Cozumel					■	■	■	■	■	■		
<b><i>Metopium brownei</i></b>												
Península de Yucatán			■	■	■	■	■	■	■			
Isla Cozumel					■	■	■	■	■	■		

Aparentemente los períodos de fructificación reportados para la península de Yucatán y los registrados en isla Cozumel están ligeramente desfasados. En los casos de *Manilkara zapota*, *Vitex gaumeri* y *Metopium brownei* los períodos de fructificación comienzan antes de lo reportado para la península o se prolongan hasta un par de meses. Para *Sideroxylon foetidissimum*, el período de fructificación en la isla es mayor que el reportado para la península.

En lo que respecta al tipo de vegetación en la que se desarrolló la presente investigación, la composición de la selva mediana subcaducifolia de isla Cozumel coincide con la reportada para las selvas medianas subcaducifolias de la península de Yucatán (Cabrera-Cano et al 1982, Ibarra Manríquez et al. 1995, Zamora-Crescencio 2008, Zamora-Crescencio et al. 2017, Ochoa-Gaona et al. 2018). Sin embargo, en la mayoría de las parcelas de vegetación que se muestrearon, la altura de las especies arbóreas no rebasó los 11 m, lo que coincide más con lo esperado para selvas bajas (Cabrera-Cano et al 1982, Sánchez-Sánchez et al. 2000). Esto podría deberse al suelo poco profundo de la isla, lo que limita la cantidad de sustrato y la humedad disponible influyendo en el crecimiento de los individuos arbóreos. En muchas ocasiones, se observó en campo que los árboles que lograban alcanzar alturas y diámetros grandes se caían debido a que un suelo somero no puede sostenerlos. Otro factor de importancia que podría estar influyendo es el paso de huracanes; la isla Cozumel continuamente está expuesta a este fenómeno natural, los más recientes y destructivos fueron el huracán Gilberto (en 1988), el huracán Emily y Wilma (ambos en 2005). De acuerdo con Navarro-Martínez y colaboradores (2012), los huracanes pueden modificar la estructura y composición de la vegetación en muy poco tiempo mediante el incremento en las tasas de mortalidad, reclutamiento y crecimiento de las especies vegetales. Estructuralmente modifican la altura promedio del dosel y disminuyen los valores de área basal de las especies vegetales; además de que en muchas ocasiones originan la apertura de claros en el paisaje favoreciendo el establecimiento de algunas especies vegetales.

Se registraron 58 especies leñosas en isla Cozumel, lo que representa casi el 13% de las especies leñosas registradas en la península de Yucatán y aproximadamente el 17% de las reportadas para el estado de Quintana Roo (Ibarra-Manríquez et al.

1995). Esto refleja la gran riqueza florística que posee la isla en una superficie relativamente poco extensa. En un estudio realizado en la selva mediana de Quintana Roo donde se caracterizaron los gremios ecológicos del componente arbóreo en distintos estados sucesionales (Sánchez-Sánchez et al. 2007), se obtuvo que la mayor riqueza de especies arbóreas se registró en la selva madura con 72 especies, mientras que en la selva con estadio sucesional joven de 15 años se registraron 62 especies y en el de 13 años 40 especies. Esto sugiere que la selva mediana de la isla donde se ubicaron las parcelas podría reflejar un estado sucesional después de haber estado expuesta al disturbio que ocasionó el paso de dos huracanes de gran magnitud durante el 2005. Este supuesto también podría estar respaldado por las especies arbóreas que se registraron con los valores más altos de IVI: *Metopium brownei*, *Manilkara zapota* y *Gliricidia sepium*. *Metopium brownei* y *Gliricidia sepium* son catalogadas como especies heliófitas durables pues se establecen bajo el dosel arbóreo, pero requieren necesariamente de claros para que la luz llegue al suelo favoreciendo su crecimiento; alcanzan la edad reproductiva entre los 5 y 15 años; su fructificación es anual, y el tamaño de la semilla es de pequeño a mediano (Sánchez-Sánchez et al. 2007). *Manilkara zapota* es considerada por Sánchez-Sánchez y colaboradores (2007) como una especie esciófita; es decir, que es una especie que se establece mejor en estadios intermedios sucesionales ya que requiere de un alto grado de iluminación para pasar por la etapa final de desarrollo antes de llegar a la madurez. Sus plántulas se establecen y crecen bajo dosel, pero necesitan de la luz directa para pasar de la etapa de fuste joven a fuste maduro, tiene épocas poco predecibles de fructificación con producciones irregulares, abarcando desde grandes producciones hasta períodos de poca producción. El tamaño de la semilla varía de mediano a grande (Sánchez-Sánchez et al. 2007).

## **Ensamblajes de vertebrados frugívoros y las implicaciones de la introducción de especies**

Se registraron 17 especies de vertebrados frugívoros, de las cuales nueve se registraron en el dosel y 10 en el sotobosque. *Melanoptila glabrirostris cozumelae* y *Nasua narica nelsoni* se registraron en el dosel y en el sotobosque.

Las especies registradas consumiendo frutos a nivel del dosel aprovechan los frutos en una etapa de maduración más temprana a comparación de las especies que consumieron los frutos a nivel del dosel. Se ha reportado que durante el proceso de maduración de un fruto la clorofila va cambiando su configuración química y se sintetizan nuevos pigmentos responsables del color del fruto maduro. La pulpa del fruto se vuelve más blanda debido a la acción enzimática que digiere las pectinas de la pared celular y también hay un proceso de conversión de almidón y ácidos orgánicos en otros azúcares (Martínez-González et al 2017).

De esta manera, la calidad nutritiva de los frutos a los que tienen alcance las especies que son capaces de consumir frutos directamente de las ramas es muy diferente a la que poseen los frutos consumidos a nivel del suelo. Aunado al distinto grado de competencia por el recurso que existe por los frutos del dosel y los que han caído al suelo. Se ha comprobado que las azúcares de los frutos incrementan de manera directamente proporcional con el grado de maduración que tienen éstos (Del Pilar Pinzón et al. 2007), de esta manera se podría pensar que los frutos que caen al suelo tienen un mayor aporte energético para la fauna que los consume; sin embargo, a pesar del mayor aporte energético que podrían obtener de los frutos las especies frugívoras en el sotobosque, en la zona de selva mediana subcaducifolia que estudiamos hay un mayor número de especies frugívoras en el sotobosque que hacen uso del mismo recurso, lo que podría sugerir una mayor competencia.

De acuerdo con la forma en que hacen uso del recurso fruto las especies frugívoras es posible identificar a las especies de vertebrados frugívoros que se registraron como generalistas y especialistas. Especies como *Leptotila jamaicensis*, *Melanoptila glabrirostris*, *Vireo magister*, *Odocoileus virginianus*, *Pecari tajacu nanus*, *Cuniculus paca* y *Dasyprocta punctata* podrían representar al grupo de frugívoros generalistas.



Mientras que *Spindalis zena benedicti* y *Patagienas leucocephala*, debido a que su dieta es principalmente de frutos, podrían catalogarse como frugívoros especialistas.

Es muy complicado y arriesgado mencionar qué tipo de aprovechamiento de los frutos hace la especie o especies registradas de murciélagos durante este estudio, ya que no fue posible identificar a la especie a ningún nivel taxonómico. En la isla Cozumel se ha reportado la especie *Artibeus jamicensis yucatanicus* como una de las más abundantes de murciélagos. Esta especie es principalmente frugívora, aunque también puede consumir insectos, néctar y polen (Vázquez-Domínguez 2012).

*Nasua narica nelsoni*, *Didelphis marsupialis*, *Dasyopus novemcinctus* y *Myiarchus* sp. podrían considerarse como generalistas ya que gran parte de la dieta de las tres primeras especies se compone por insectos, huevos, polluelos e incluso pequeños anfibios o reptiles, mientras que la de *Myiarchus* sp. se basa principalmente en el consumo de insectos; utilizan los frutos como fuente adicional de carbohidratos.

*Potos flavus* aunque podría considerarse una especie generalista al igual que su pariente *Nasua narica nelsoni*, ambos prociónidos, porque integra a su dieta hojas, insectos y huevos (Monterrubio-Rico et al. 2013); es un frugívoro especialista puesto que gran parte de su dieta la componen los frutos (Hernández-Camacho 1977), se ha reportado que casi del 90% al 95% de su dieta son frutos (Hernández-Flores et al. 2018). Algunos autores (Gaumer 1917, Elliot 1904) basados en sus experiencias mencionan que *P. flavus* se alimenta principalmente de aves, huevos, insectos y hojas. Sin embargo distintos autores sostienen que de acuerdo con la morfología molar, la lengua tan extensa que posee y observaciones en campo realizadas, su dieta debe componerse principalmente por frutos y néctar (Goodwin 1946, Hall et al. 1963, Duke 1967).

Cabe mencionar que el registro de la especie feral *Canis lupus familiaris* fue frecuente y ocurrió en por lo menos una parcela de todas las especies focales. Es alarmante la presencia tan frecuente de esta especie pues pone en riesgo a la fauna silvestre de la isla, muchas de estas especies frugívoras. Su presencia podría favorecerse mediante dos factores de disturbio antrópico, uno de ellos es la

expansión de los asentamientos humanos y otro la construcción de caminos. Se observó que muy cerca de algunas parcelas hay pequeños asentamientos humanos irregulares y un rancho, también existen senderos dentro de la selva que quizá las personas utilizan para coleccionar leña. Es posible que los perros provengan de los asentamientos humanos cercanos al eje y los caminos podrían favorecer su desplazamiento a lo largo de la selva. De acuerdo con Cuarón y colaboradores (2009), la introducción de especies exóticas y la presencia de fauna feral (perros y gatos) tiene repercusiones en la salud de la fauna nativa al existir la posibilidad de contagiarla de enfermedades como hepatitis y disentería canina, *Toxoplasma gondii* y *Leptospira* spp. Además de que se tiene evidencia de que los perros han matado carnívoros silvestres de la isla, y la demás fauna no está exenta de este riesgo (Cuarón et al 2009).

La introducción de fauna exótica a la isla es realmente un problema. Williamson (1996) y Lodge (1993) mencionan que puede haber efectos sobre la adquisición y utilización de los recursos, es decir, incide directamente en las interacciones de competencia por recursos como alimento y espacio. También podría modificar la estructura y funcionalidad de la cadena trófica (Pearson 2009). Puede incrementar la depredación de las especies nativas, la diseminación de enfermedades hacia la fauna nativa (Cuarón et al. 2009) y se corre el gran riesgo de que favorezca procesos de hibridación (González-Baca 2006).

Resulta alarmante el efecto negativo que pudiese tener la introducción de especies sobre los ensambles de frugívoros. Uno de los principales efectos que se considera pudiese ocurrir, es el de la competencia que puede haber entre las especies frugívoras introducidas y las especies frugívoras nativas por el recurso alimenticio. Sin embargo, también es importante considerar que muchas de las especies de frugívoros presentes en la isla no son frugívoros especialistas o estrictos, es decir, que su alimentación no depende completamente del consumo de frutos. Especies como *Myiarchus* sp., *Melanerpes pygmaeus*, *Vireo magister*, *Dasyopus novemcinctus*, *Didelphis marsupialis*, *Nasua narica nelsoni*, *Pecari tajacu nanus*, *Dasyprocta punctata* y *Cuniculus paca* incorporan a su dieta insectos, raíces, retoños de hojas, corteza e incluso en el caso de *Nasua narica nelsoni* y *Didelphis*

*marsupialis* se alimentan de huevos, polluelos, pequeños reptiles y anfibios (Ceballos et al 2005).

En el caso particular de *Potos flavus*, una de las especies introducidas a la isla, sería importante realizar estudios posteriores sobre el impacto que tiene en otras especies residentes o endémicas que también se alimentan de frutos en el dosel como competidores por el mismo recurso, ya que de acuerdo con los resultados obtenidos, es de las especies de dosel con mayor IAR y que se alimenta de los frutos de las cuatro especies focales analizadas. La principal competencia posiblemente sería con aves y con murciélagos, ya que *Nasua narica nelsoni* que es una especie con alto valor de IAR y que podría competir de manera importante con *Potos flavus*, es generalista y por lo tanto no depende únicamente de los frutos para su alimentación. Otro aspecto que debe considerarse son los horarios de actividad de *Potos flavus* y de las especies con las que potencialmente podría competir por los frutos. De acuerdo con Monterrubio-Rico y colaboradores (2013) y Hernández-Flores et al. (2018), *Potos flavus* es una especie con actividad principalmente nocturna lo cual sugiere que los horarios de forrajeo de este prociónico y de las aves no coinciden, pero sí con los de las especies de murciélagos frugívoros y *Nasua narica nelsoni*.

Probablemente la mayor competencia que puede presentarse entre las especies de frugívoros residentes y las especies introducidas es entre aquellas que forrajean en el sotobosque. De las especies de frugívoros registradas en el sotobosque, *Crax rubra griscomi*, *Leptotila jamaicensis*, *Melanoptila glabrirostris cozumelae*, *Didelphis marsupialis cozumelae*, *Nasua narica nelsoni* y *Pecari tajacu nanus* son especies residentes y en algunos casos subespecies endémicas de la isla; mientras que las especies frugívoras introducidas que podrían competir con éstas son *Odocoileus virginianus*, *Cuniculus paca* y *Dasyprocta punctata*. De las especies residentes y subespecies endémicas de la isla, *Nasua narica nelsoni* y *Pecari tajacu nanus* se observaron en actividad durante el día y la noche, sólo *Didelphis marsupialis* se registró que es de hábitos principalmente nocturnos. En cuanto a las especies frugívoras introducidas, *Odocoileus virginianus* y *Dasyprocta punctata* se registraron principalmente en actividad durante el día y *Cuniculus paca* durante la noche. Sin

embargo, los valores del IAR de *Odocoileus virginianus* y de *Dasyprocta punctata* son bajos a comparación de los de las especies de frugívoros nativos del sotobosque. Sólo *Cuniculus paca*, de las especies introducidas, resultó tener un elevado IAR. Cabe mencionar que las especies *Didelphis marsupialis cozumelae*, *Nasua narica nelsoni*, *Pecari tajacu nanus* y *Cuniculus paca* se observaron durante su temporada reproductiva y fue posible observar que los horarios de actividad de las madres con crías o juveniles de *Nasua narica nelsoni* y *Pecari tajacu nanus* se modifican, ya que usualmente las madres con crías o juveniles fueron observados forrajeando principalmente durante el día; mientras que *Didelphis marsupialis cozumelae* y *Cuniculus paca* aún con crías, no se observó que modificaran sus horarios nocturnos de actividad. Sin embargo, no se debe perder de vista que en la selva mediana subcaducifolia de la isla existen muchas otras especies leñosas con frutos que consumen las especies en distintas épocas del año y que posiblemente amortiguan la elevada competencia que pudiera existir entre las especies frugívoras. Durante este estudio se registraron 32 especies con frutos carnosos de las 58 especies leñosas que se registraron, es decir, que más del 50% de las especies leñosas reportadas poseen frutos carnosos los cuales potencialmente podrían ser consumidos por las especies frugívoras.

Por otra parte, es importante considerar que la introducción de especies y su establecimiento son favorecidos por variables o condiciones que presenta el sistema. Se considera que sitios con un alto índice de perturbaciones ecológicas, baja diversidad de especies nativas, con una diversidad y poblaciones bajas de depredadores o que se encuentren en estados sucesionales tempranos favorecen el establecimiento de especies exóticas (Gutiérrez-Yurrita 1999).

### **Frugivoría y dispersión de semillas**

De acuerdo con los registros obtenidos en las foto-trampas se pudo observar que las especies de vertebrados frugívoros de la isla consumieron de manera distinta los frutos de las especies arbóreas focales.

Este tipo de aprovechamiento diferencial del fruto está estrechamente relacionado con las estrategias de forrajeo de cada especie, la recompensa energética que

obtienen y la morfometría de los frutos. La adopción de las varias estrategias de forrajeo a lo largo de la evolución de una especie depende de factores tales como la disponibilidad de ciertos alimentos en diversos momentos del año, la competencia por los recursos con otras especies y con otros individuos de la misma especie, y el valor nutritivo del alimento (Guitérrez 1998).

*Cuniculus paca* y *Pecari tajacu nanus* resultaron ser especies que depredan las semillas de los frutos de las cuatro especies arbóreas y su dieta no se basa estrictamente en el consumo de frutos. Obtienen carbohidratos y proteínas de la ingesta de insectos, raíces y retoños de plantas. Sin embargo, una de las estrategias de forrajeo que posiblemente tienen es la de depredar las semillas obteniendo recompensas energéticas grandes, ya que se ha comprobado que las semillas son reservorios de grandes cantidades de carbohidratos, proteínas y lípidos que posteriormente utilizarán durante el proceso de germinación (Doria 2010). Es importante mencionar que ambas especies son abundantes en la isla y se alimentan de los frutos de las cuatro especies focales lo que podría tener distintas implicaciones negativas para estas especies arbóreas pues la depredación de las semillas impide su germinación y reduce el reclutamiento de plántulas, proceso importante en la dinámica de poblaciones (Ruiz 2010; Gutiérrez-Granados et al. 2009).

*Leptotila jamaicensis*, *Melanoptila glabirostris* y *Spindalis zena benedicti* se clasificaron como especies consumidoras de pulpa principalmente de los frutos de *Manilkara zapota*. Las recompensas energéticas que proporciona la pulpa son grandes por la gran cantidad de carbohidratos que posee, pero una de las limitantes que presentan los frutos para ser ingeridos por completo es su morfometría (Van der Pijil 1972). Esto es evidente en el caso de *Leptotila jamaicensis* y *Patagioenas leucocephala*, ambas palomas, pero *Patagioenas leucocephala* es de mayor tamaño a comparación de *Leptotila jamaicensis* por lo que esta primera es capaz de consumir los frutos de *Sideroxylon foetidissimum* completos, mientras que la última sólo la pulpa de otros frutos.

Por otra parte, en la interacción que tienen estas especies consumidoras de pulpa con las especies arbóreas de las cuales se alimentan de sus frutos no existe un

beneficio mutuo. Las especies frugívoras consumidoras de pulpa son las únicas que se benefician obteniendo energía de la pulpa; mientras que para la especie vegetal esto significa un daño debido a que el gasto energético que implica para la planta la producción de flores y de frutos es muy elevado y el objetivo fundamental es el de continuar con la viabilidad de su población (Revilla et al. 2015) proceso que se ve limitado al no dispersar sus semillas.

Todas las estrategias de forrajeo que se observaron en las especies frugívoras tienen grandes implicaciones en el posterior proceso de dispersión de semillas, ya que la efectividad como especie dispersora esta estrechamente relacionada con la frecuencia de consumo del fruto zoócoro, la recompensa energética que éste proporciona al animal, la distancia que recorre el frugívoro antes de depositar la semilla y principalmente que la semilla quede intacta durante todo el proceso de ingesta y digestión.

De tal manera que especies como *Patagioenas leucocephala*, *Vireo magister*, *Didelphis marsupialis cozumeale*, murciélagos, *Nasua narica nelsoni* y *Potos flavus* podrían considerarse dispersores de semillas legítimos debido a que ingieren por completo el fruto y pueden dispersar sus semillas a distancias considerables (Rodríguez 2017, Galindo-González 1998, Moreno-Velázquez 2010, Fedriani et al. 2015).

Otra especie que fue registrada alimentándose de los frutos de *Manilkara zapota* y que podrían considerarse como dispersores efectivos de sus semillas son los murciélagos. Los murciélagos se consideran dispersores legítimos ya que toman los frutos de la planta parental y lo consumen lejos de ésta en comederos donde se perchan para consumir la pulpa y desechar la semilla en estos sitios (Ruiz 2010). En Cozumel, la especie de murciélago frugívora más abundante es *Artibeus jamicensis yucatanicus* (Vázquez-Domínguez 2012). Las especies del género *Artibeus* son potencialmente dispersores de semillas de una amplia variedad de tamaños (Ruiz 2010), especialmente frutos de tamaños grandes debido al gran tamaño y fuerza que poseen las especies de este género. Se ha reportado que hay especies del género que son capaces de transportar frutos de más de la mitad de su masa corporal; se considera que obtienen un mayor beneficio energético de

frutos grandes y minimizan el número de vuelos cortos necesarios para la obtención de alimento en una noche (Duque-Márquez et al. 2015).

### **Mecanismos que inciden en los ensambles de vertebrados frugívoros en la isla Cozumel**

La búsqueda de las variables que posiblemente estuvieron incidiendo de manera importante en la presencia y abundancia de las especies de vertebrados en general y de los vertebrados frugívoros se realizó en diversos contextos. Cuando se realizó en contextos donde se incluían a todas las especies de vertebrados registradas o a todas las especies de frugívoros fue complicado reconocer a aquellas variables recurrentes que podrían estar incidiendo de manera significativa. Sin embargo, cuando el análisis se realizó disgregando las especies en aquellas que se reconocieron como frugívoras y por el estrato de forrajeo en el que se registraron fue posible identificar las variables explicativas más plausibles.

Para los análisis realizados con las especies de vertebrados frugívoros registradas en dosel fue muy evidente la aparición recurrente de variables relacionadas con disturbio antrópico de manera que esto sugiere que la fauna que alberga el dosel es más susceptible a factores de disturbio antrópico como lo son la cercanía con la carretera transversal, con el borde de la selva y con el eje de captación de agua contiguo.

Las carreteras representan barreras para el desplazamiento de la fauna terrestre y aérea. En el caso de las carreteras, el grado de daño que pueden ocasionar está en función de sus dimensiones y la frecuencia con que transitan vehículos, además de las velocidades que llegan a alcanzar los mismos. La carretera transversal de Cozumel podría ser una barrera para el desplazamiento de la fauna, principalmente de mamíferos, aves y reptiles. Si bien, se tiene evidencia del paso de fauna en esta estructura lineal, muchas veces es atropellada. De esta manera, también se limita el desplazamiento e intercambio de semillas de las especies leñosas zoócoras. Perdomo (2006), menciona que entre los principales efectos ecológicos de los caminos y carreteras está la pérdida de hábitat, alteraciones del hábitat adyacente, cambios en la configuración del paisaje, efectos de borde hacia ambos lados del

camino, penetración de fauna invasora, disturbio visual y acústico, fragmentación de poblaciones, mortalidad de fauna por atropellamientos y barrera para el movimiento de la fauna. Mientras que Pacheco-Vargas y Losada-Prado (2015) comprobaron que el ruido provocado por el tráfico vehicular de las carreteras afecta el canto de las especies *Hylophilus flavipes* y *Cyclarhis gujanensis*, modificando la duración y el número de notas de sus cantos. Además del efecto que tienen en la fauna como barrera, también ejercen un efecto de borde, ambos tienen repercusiones en los patrones reproductivos de algunas especies, el flujo genético entre poblaciones e incluso en los patrones de forrajeo de las especies (Arroyave et al. 2006).

Por otra parte, también resultaron como variables importantes para la fauna frugívora registrada en dosel, la diversidad (inverso del índice de Simpson) de especies leñosas y la cantidad de materia orgánica. La diversidad de especies leñosas podría influir en la disponibilidad de frutos para las especies frugívoras que se alimentan en el dosel y en la arquitectura del dosel donde se desplazan estas especies. La arquitectura del dosel está relacionada con la cantidad y distribución espacial de las ramas, hojas y frutos en la fronda (Castaño et al. 2013).

Resultaron importantes para las especies de vertebrados frugívoros registradas en dosel algunas especies leñosas como *Sideroxylon foetidissimum*, *Pouteria campechiana*, *Guettarda elliptica*, *Guettarda combsii*, *Cordia dodecandra*, *Ficus obtusifolia*, *Metopium brownei*, *Exothea diphylla* y *Tabebuia chrysantha*. Es importante resaltar que todas estas especies, con excepción de *Tabebuia chrysantha*, poseen frutos carnosos y con características zoócoras lo que podría sugerir que son importantes para la fauna frugívora como recurso alimenticio.

En el caso de las especies de vertebrados frugívoros y no frugívoros registradas a nivel del sotobosque, aparentemente las variables relacionadas con el disturbio no son tan relevantes como lo fueron para la fauna registrada en dosel. La única variable relacionada con disturbio antrópico que apareció fue la distancia de las parcelas de vegetación a la carretera transversal. En campo se observó que conforme la distancia de las parcelas a la carretera transversal era mayor, éstas registraron una mayor diversidad de especies vegetales y faunísticas, además de



que los individuos leñosos, por lo general, presentaron valores mayores de DAP y altura. Posiblemente las especies de vertebrados que se desplazan a nivel del sotobosque son más vulnerables a los cambios en la estructura y composición de la vegetación leñosa. La cantidad de roca y materia orgánica en el suelo y la riqueza de especies leñosas también aparecieron en los CCA como variables importantes para las especies de vertebrados frugívoros y no frugívoros registradas en el sotobosque. Posiblemente la cantidad de roca y materia orgánica en el suelo podrían estar relacionadas con la composición de especies leñosas y la abundancia de individuos leñosos, es decir que la cantidad de materia orgánica presente en la parcela podría estar en función de la cantidad de hojas que pierden los árboles de acuerdo con la especie a la que pertenecen y a las características estructurales de los individuos, como DAP y cobertura del dosel. Por otro lado, cabe mencionar que las parcelas donde se observaron cantidades considerables de roca expuesta presentaron baja riqueza de especies leñosas. Martínez-Yrizar y Sarukhan (1993) reconocieron la importancia que tiene la materia orgánica del suelo o mantillo para la germinación de semillas, sobrevivencia de plántulas y desarrollo de retoños vegetativos, ya que los cambios espaciales y temporales del mantillo afectan la dinámica de nutrientes en el suelo.

Las especies leñosas que aparecieron como relevantes para la fauna de sotobosque fueron muy similares con las encontradas para la fauna de dosel, pero fueron más especies. Éstas fueron *Sideroxylon foetidissimum*, *Pouteria campechiana*, *Guettarda elliptica*, *Ficus obtusifolia*, *Metopium brownei*, *Exothea diphylla*, *Tabebuia chrysantha*, morfoespecie 2, *Piscidia piscipula*, *Coccoloba diversifolia*, *Bursera simaruba*, *Ceiba aesculifolia*, *Ateleia gummifera* y *Plumeria obtusa*. Resulta muy interesante que para las especies registradas en sotobosque no sólo las especies con frutos zoócoros son variables importantes, sino también se incluyen especies leñosas con frutos secos y vainas, los cuales son considerados poco atractivos para el consumo de los animales, tal es el caso de *Tabebuia chrysantha*, *Piscidia piscipula*, *Ceiba aesculifolia*, *Ateleia gummifera* y *Plumeria obtusa*; las especies leñosas restantes poseen frutos carnosos con atributos zoócoros. Este resultado podría reafirmar la idea de que la composición y estructura

de la vegetación son variables importantes para la fauna que se desplaza, refugia y alimenta en el sotobosque.

Uno de los resultados consistentes durante los distintos contextos analizados fue la asociación que resultó entre la presencia y abundancia de *Crax rubra griscomi* y *Dasyprocta punctata* con las especies leñosas *Pouteria campechiana* y *Ficus obtusifolia*. Ambas especies poseen frutos zoócoros con una gran cantidad de pulpa. *Pouteria campechiana* es una especie de la familia Sapotaceae que posee un fruto tipo drupa con un par de huesos rodeados por una cantidad significativa de mesocarpio. *Ficus obtusifolia* pertenece a la familia Moraceae y también posee un fruto zoócoro por excelencia; es una infrutescencia tipo sícono que comúnmente es llamado higo, este tipo de frutos se caracterizan por ser huecos en su interior y poseer una abertura apical (ostiolo) por donde ingresan los polinizadores de sus flores (generalmente insectos) que se encuentran en el interior de esta infrutescencia y que una vez que han sido polinizadas darán origen a los verdaderos frutos de la planta (González-Castañeda et al. 2010). Estos resultados podrían sugerir que tanto *Pouteria campechiana* como *Ficus obtusifolia* podrían ser recursos importantes para la dieta de *Crax rubra griscomi* y *Dasyprocta punctata*. A partir de observaciones hechas en campo, se confirmó que *Dasyprocta punctata* se alimenta de los frutos de *Pouteria campechiana*.

Todas las variables que resultaron importantes para los vertebrados frugívoros durante este tipo de análisis nos proporcionaron un panorama general y exploratorio de los mecanismos que posiblemente están incidiendo en la estructuración y composición de la comunidad de vertebrados frugívoros de la selva mediana subcaducifolia de la isla Cozumel. Sin embargo, surge la necesidad de evaluar detalladamente estas variables y comprobar los efectos que podrían tener sobre los ensambles de vertebrados frugívoros de la isla.

## CONCLUSIONES

---

- Las aves *C. rubra griscomi*, *P. leucocephala*, *M. pygmaeus pygmaeus*, *Myiarchus* sp., *V. magister* y *S. zena benedicti* fueron especies que se asociaron con variables como las distancias a los disturbios antrópicos, la frecuencia de plantas policaulescentes, la diversidad de especies leñosas (inverso del índice de Simpson) y con especies leñosas específicas como *P. campechiana*, *F. obtusifolia*, *C. dodecandra*, *G. combsii*, *S. foetidissimum*, *morfoespecie 2*, *T. chrysantha* y *E. pentaphylla*. Las aves resultaron ser más sensibles a los disturbios antrópicos, a la composición de la comunidad leñosa y a especies leñosas con frutos zoócoros. En cuanto a los mamíferos, sólo *D. punctata* y los murciélagos presentaron asociaciones con variables particulares. *Dasyprocta punctata* mostró una importante asociación con las especies leñosas *P. campechiana*, *F. obtusifolia* y *T. chrysantha*; mientras que en los murciélagos fue importante la especie *E. diphylla*. Esto sugiere que la presencia y abundancia de estos mamíferos responde a las especies leñosas con frutos zoócoros.
- La introducción de especies a la isla Cozumel es un factor que aún no se ha evaluado pero que podría ser pernicioso para las especies nativas de la isla debido a que existe la posibilidad de que las especies introducidas compitan con las especies nativas por recursos alimenticios. En el caso particular de las especies de vertebrados frugívoras, la mayoría de las especies introducidas son frugívoras de sotobosque y podrían competir por alimento con las especies endémicas *Crax rubra griscomi*, *Didelphis marsupialis cozumelae*, *Nasua narica nelsoni* y *Pecari tajacu nanus*. Sin embargo, se deben considerar los hábitos y horarios de actividad de forrajeo de cada una de estas especies.
- Las especies de vertebrados frugívoros registradas hicieron un uso diferencial de los frutos que consumieron lo que permitió su caracterización en consumidores de pulpa, consumidores del fruto completo, depredadores

de semillas y no definitos. De acuerdo con el uso que hacen del recurso fruto, cada grupo de especies tiene implicaciones en la dinámica poblacional de las especies leñosas de las cuales consume sus frutos en procesos como la germinación, reclutamiento y establecimiento de las plántulas.

- Las especies leñosas con frutos zoócoros fueron variables importantes en la presencia y abundancia de los vertebrados frugívoros. Sin embargo, para las especies registradas a nivel de dosel, las variables relacionadas con disturbio antrópico también fueron relevantes; mientras que para las especies registradas a nivel de sotobosque lo fueron más las especies leñosas.
- Las especies arbóreas focales no resultaron ser determinantes en la presencia y abundancia de las especies de vertebrados frugívoras, ya que los resultados sugirieron que también fueron importantes otras especies leñosas con frutos zoócoros y variables como la distancia a disturbios y la diversidad de especies leñosas.

## CONSIDERACIONES FINALES

---

- Este trabajo permite tener un panorama general de las variables ambientales y estructurales de la vegetación que podrían estar influyendo en los ensambles de vertebrados frugívoros presentes en la selva mediana subcaducifolia de un sistema insular, así como comprobar si las distancias a diversos disturbios antrópicos podrían estar incidiendo en los ensambles de frugívoros que se registraron. Sin embargo es necesario el sometimiento de estos resultados a pruebas estadísticas rigurosas y no solamente exploratorias que permitan corroborar los hallazgos.
- Los temas de introducción de especies exóticas y presencia de especies ferales deben ser temas prioritarios para la conservación de la diversidad biológica de la isla. Pues la introducción de nuevas especies podría tener implicaciones en la dinámica de diversos procesos ecológicos como lo es la frugivoría, entre muchos otros.
- A partir de este estudio surgen muchas nuevas preguntas y planteamientos. Uno de ellos es el estudio de procesos ecológicos y sus patrones en un sistema insular desde un punto de vista integral y de interacciones biológicas. El estudio de la frugivoría desde la visión de una interacción mutualista permitiría entender mejor la dinámica de las comunidades involucradas y sus implicaciones para la conservación de los ecosistemas naturales y antropizados de la isla.

## LITERATURA CITADA

---

- Aguirre- Muñoz, A., J.E., Bezaury-Creel, H. de la Cueva, I.J. March-Mifsut, E. Peters-Recagno, S. Rojas-González de Castilla y K. Santos del Prado Gasca (Compiladores). 2010. Islas de México, Un recurso estratégico. Instituto Nacional de Ecología (INE), The Nature Conservancy (TNC), Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. (GECI), Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Pp. 52.
- Arroyave, M. del P, C. Gutiérrez, M. E. Múnera, D. P. Zapata, P. A. Vergara, I. C. Andrade, L. M. Ramos y K. Cristina. 2006. Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Revista EIA*, (5): 45-57.
- Cabrera-Cano E.F., M. Sousa-Sánchez y O. Téllez-Valdés. 1982. Imágenes de la flora quintanarroense. Centro de investigaciones de Quintana Roo e Instituto de Biología de la UNAM, México. 223 p.
- Castaño, M.A.M., H.A. Chica R., D. Obando B., N.M. Riaño H. 2013. Arquitectura del dosel e interceptación de la radiación solar por tres especies forestales nativas en Colombia. *Cenicafé*, 64 (1): 19-30.
- Caughlin T.T., J.M. Ferguson, J.W. Lichstein, P.A. Zuidema, S. Bunyavejchewin y D.J. Levey. 2016. Loss of animal seed dispersal increases extinction risk in a tropical tree species due to pervasive negative density dependence across life stages. *Proc. R. Soc. B.*, 282: 1-9.
- Caziani S.M. 1996. Interacción plantas-aves dispersoras de semillas en un bosque chaqueño semiárido (tesis de doctorado). Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

- Ceballos, G. y G. Oliva (coords.). 2005. Los mamíferos silvestres de México. Editorial Fondo de la Cultura Económica y CONABIO, México. 1986 p.
- Correa-Cortés M. y M. Uriarte. 2013. Integrating frugivory and animal movement: a review of the evidence and implications for scaling seed dispersal. *Biol. Rev.*, 88: pp. 255–272.
- Cuarón A.D., M.A. Martínez-Morales, K.W. Mcfadden, D. Valenzuela y M.E. Gompper. 2004. The status of dwarf carnivores on Cozumel Island, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 13 (2): 317-331.
- Cuarón, A., D. Valenzuela-Galván, D. García-Vasco, María E. Copa, S. Bautista, H. Mena, D. Martínez-Godínez, C. González-Baca, L. A. Bojórquez-Tapia, L. Barraza, P. C. de Grammont, F. Galindo-Maldonado, M. A. Martínez-Morales, E. Vázquez-Domínguez, E. Andresen, J. Benítez-Mavidos, D. Pérez-Salicrup, K. W. McFadden y M. E. Gompper. 2009. Conservation of the endemic dwarf carnivores of Cozumel Island, Mexico. *Small Carnivore Conservation* 41: 15-21.
- De la Fuente F. Santiago. 2011. Análisis conglomerados. Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de ciencias económicas y empresariales, Madrid, España. 82 p.
- Del Pilar-Pinzón, I.M.; G. Fischer y G. Corredor. 2007. Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims.). *Agronomía Colombiana* 25: 83-95.
- Dirzo R., H.S. Young, M. Galetti, G. Ceballos, N.J.B. Isaac and B. Collen. 2014. Defaunation in the Anthropocene. *Science* 345 (6195): 401-406.

- Doria, J. 2010. Revisión bibliográfica. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31 (1): 74-85.
- Duke, J.A. 1967. Mammal dietary (mimeografiado). En: *Bioenvironmental and Radiological-Safety Feasibility Studies, Atlantic-Pacific International Canal*, Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio.
- Duque-Márquez, A. y M. Muñoz-Romo. 2015. Registro máximo de carga de fruto en murciélagos frugívoros: *Artibeus lituratus* (Chiroptera: Phyllostomidae). *Revista Mexicana de Mastozoología Nueva época*, 5 (1): 96-100.
- Duno de Stefano R., I. Ramírez M., J.L. Tapia-Muñoz, S. Hernández-Aguilar, L.L. Can, W. Cetzal-Ix, N. Méndez-Jiménez, P. Zamora-Crescencio, P. Gutiérrez-Báez y G.C. Fernández-Concha. 2018. Aspectos generales de la flora vascular de la Península de Yucatán Mexicana. *Botanical Sciences*, 96 (3): 515-532.
- Elliot, D.G. 1904. "Land and sea mammals of Middle America and the West Indies". *Field Col. Mus. Publ. 95, Zool. Ser., IV, part I*, pp. 4-8.
- Erosa-Rejón G., L.M. Peña-Rodríguez y O. Sterner. 2010. Isolation of kaempferol-3-rutinoside from the leaf extract of *Sideroxylon foetidissimum* subesp. *gaumeri*. *Rev. Latinoamer. Quím.*, 38 (1): 7-11.
- Farwig N. y D.G. Berens. 2012. Imagine a world without seed dispersers: A review of threats, consequences and future directions. *Basic and Applied Ecology*, 13 (2): 109-115.
- Fedriani J.M. y A. Suárez-Esteban. 2015. Frutos, semillas, y mamíferos frugívoros: diversidad funcional de interacciones poco estudiadas. *Ecosistemas* 24 (3): 1-4.



- Fleming T.H., D.L. Venable y L.G. Herrera. 1993. Opportunism vs. specialization: the evolution of dispersal strategies in fleshy-fruited plants. *Vegetatio* 107/108: 107-120.
- Galindo-González, J. 1998. Dospersión de semillas por murciélagos: su importancia en la conservación y regeneración del bosque tropical. *Acta Zool. Mex.* (n.s.) 13: 57-74.
- Gandolfo, W.S.P. 2008. Factores ecofisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo, floración y desarrollo del fruto del aguacate. Tesis de doctorado. Universidad Politécnica de Valencia, España. 211 p.
- García L.G. 2014. Efectos de la pérdida de hábitat en el servicio de dispersión de semillas por aves en bosques cantábricos (tesis de maestría). Universidad de Oviedo, Oviedo, España.
- Gaumer, G.F. 1917. Monografía de los mamíferos de Yucatán. Depto. de Talleres Graficos de la Secretaria de Fomento, Mexico. Pp. i-xli, 1-332.
- González-Baca, C.A. 2006. Ecología de forrajeo de Boa constrictor. Un depredador introducido a la isla Cozumel. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de México, México. 76 p.
- González-Castañeda, N., G. Cornejo-Tenorio y G. Ibarra-Manríquez. 2010. El género *Ficus* (Moraceae) en la provincia biogeográfica de la Depresión del Balsas, México. *Bol.Soc.Bot.Méx.* 87: 105-124.
- González-Varo J.P., J.M. Fedriani, J.V. López-Bao, J. Guitián y A. Suárez-Esteban. 2015. Frugivoría y dispersión de semillas por mamíferos carnívoros: rasgos funcionales. *Ecosistemas* 24 (3): 43-50.

- Goodwin, G.G. 1946. "Mammals of Costa Rica". Bull. Amer. Nat. Hist., 87 (5): 271-474.
- Gower, J. C. 1967. A comparison of some methods of cluster analysis. Biometrics, 23, 623-628.
- Gutiérrez, G. 1998. Estrategias de forrajeo. En R. Ardila, W. López, A.M. Pérez, R. Quiñones & F. Reyes (Eds.). Manual de Análisis Experimental del Comportamiento. Librería Nueva, Madrid. 359-381 pp.
- Gutiérrez-Granados, G. y R. Dirzo. 2009. Remoción de semillas, herbivoría y reclutamiento de plántulas de *Brosimum alicastrum* (Moraceae) en sitios con manejo forestal contrastante de la selva Maya, Quintana Roo, México. Bol.Soc.Bot.Méx. 85: 51-58.
- Gutiérrez-Yurrita, P.J. 1999. Consecuencias de la introducción de especies. Biología Informa, 25 (6): 6 p.
- Halffter, G., J. Soberón, P. Koleff & A. Melic (eds.) 2005. Sobre Diversidad Biológica: el Significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma. m3m-Monografías 3er cer Milenio, vol. 4. SEA, CONABIO, Grupo DIVERSITAS y CONACYT, Zaragoza. IV + 242 pp.
- Hall, E. y W.W. Dalquest. 1963. "The mammals of Veracruz". Univ. Kansas Publ. Mus. Nat. Hist., 14 (14): 165-362.
- Herbario CICY. 2010. Flora de la Península de Yucatán. Fecha de consulta: 23 de noviembre de 2018. Disponible en: <http://www.cicy.mx/sitios/flora%20digital/>

- Hernández-Camacho, J. 1977. Notas para una monografía de *Potos flavus* (Mammalia: Carnivora) en Colombia. *Caldasia*, XI (55): 147-181.
- Hernández-Jaramillo A.; O.P. Pinzón y A. Parrado-Rosselli. 2012. Depredación de las semillas de *Sapindus saponaria* L. por *Leptostylus gibbulosus* Bates (Coleoptera: Cerambycidae) y su efecto en la germinación. *Colombia Forestal* Vol. 15(2): 247 – 260.
- Hernández-Pérez E., R. Reyna-Hurtado, G. Castillo V., M. Sanvicente L. y J.F. Moreira-Ramírez. 2015. Fototrampeo de mamíferos terrestres de talla mediana y grande asociados a petenes del noroeste de la Península de Yucatán, México. *THERYA*, Vol. 6 (3): 559-574.
- Hernández P.J., Serra M.T. y Faúndez Y.L. 2000. Manual de métodos y criterios para la evaluación y monitoreo de la flora y la vegetación. Universidad de Chile. 37 p.
- Howe H.F. y J. Smallwood. 1982. Ecology of seed dispersal. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 13: 201-228.
- Hsieh T.C., K.H. Ma y A. Chao. 2016. iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers) *Methods in Ecology and Evolution*, 7: 1451–1456.
- Ibarra-Manríquez G., J.L. Villaseñor y R. Durán G. 1995. Riqueza de especies y endemismo del componente arbórea de la Península de Yucatán, México. *Bol. Soc. Bot.*, 57: 49-77.
- Jordano P. 2000. Fruits and frugivory. In: Fenner M. (ed.) *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*, 2° ed, CABI Publ., Wallingford, UK. 125-166 p.

- Jordano, P., C. Garcia, J.A. Godoy y J.L. García-Castaño. 2007. Differential contribution of frugivores to complex seed dispersal patterns. *PNAS*, 104 (9): 3278-3282.
- Lira-Torres I., M. Briones-Salas y G. Sánchez-Rojas. 2014. *Rev. Biol. Trop.*, Vol. 62 (4): 1407-1419.
- Little L.E., F.H. Wadsworth y J. Marrero. 2001. Árboles comunes de Puerto Rico y las Islas Vírgenes. Editorial de la Universidad de Puerto Rico, 2aed, San Juan, Puerto Rico. 699 p.
- Lodge, D. M. 1993. Biological invasions: Lessons for ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, 8 (4): 133-137.
- López-González, C.A. y A. González-Romero. 1997. The lizard community of Cozumel Island, Quintana Roo, Mexico. *Acta Zool. Mex.* (n.s.) 72: 27-38.
- Martínez-González, M.E., R. Balois-Morales, I. Alia-Tejacal, M.A. Cortes-Cruz, Y.A. Palomino-Hermosillo y Graciela Guadalupe López-Gúzman. 2017. Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm. 19*: 4075-4087.
- Martínez-Morales, M.A. 1996. The Cozumel curassow: abundance, hábitat preference and conservation. Tesis de maestría. Universidad de Cambridge, U.K.
- Martínez-Yrizar, A. y J. Sarukhan. 1993. Cambios estacionales del mantillo en el suelo de un bosque tropical caducifolio y uno subcaducifolio en Chamela, Jalisco, México. *Acta Botánica Mexicana*, 21: 1-6.

- McConkey K.R., S. Prasad, R.T. Corlett, A. Campos-Arceiz, J.F. Brodie, H. Rogers y L. Santamaria. 2012. Seed dispersal in changing landscapes. *Review. Biological Conservation*, 146: 1–13.
- Medellín R., Azuara, D., Maffei, L., Zarza, H., Bárcenas, H., Cruz, E., Legaria, R., Lira, I., Ramos Fernández, G., & Ávila, S. 2006. Censos y Monitoreo. En: C. Chávez & G. Ceballos (Eds.). *El Jaguar Mexicano en el Siglo XXI: Situación Actual y Manejo* (pp. 25-35). México. D.F.: CONABIO-Alianza WWF TELCEL-Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mendoza D.A. 2005. *Dasypus novemcinctus* Linnaeus, 1758. Armadillo. En: Ceballos, G. & G. Oliva (Eds.) 2005. *Los mamíferos silvestres de México* (986 pp). Col. Sección de obras de ciencia y tecnología. FCE, CONABIO.
- Mengak, M. T. 2005. Nine-banded armadillo (*Dasypus novemcinctus*). University of Georgia Warner School of Forest Resources Publication, Natural History Series No. 4: 1–6. Disponible en <http://digitalcommons.unl.edu/icwdmother/42>
- Mejía-Ortiz L.M., G. Yáñez, M. López-Mejía y E. Zarza-González. 2007. Cenotes (anchialine caves) on Cozumel island, Quintana Roo, México. *México. Journal of Cave and Karst Studies*, 69 (2): 1-6.
- Monterrubio-Rico T.C., J.F. Charre-Medellín, A.I. Villanueva-Hernández y L. León-Paniagua. 2013. Nuevos registros de la martucha (*Potos flavus*) para Michoacán, México, que establecen su límite de distribución al norte por el Pacífico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84: 1002-1006.
- Moreno-Velázquez, J. B. 2010. Aves dispersoras de semillas en un remanente de bosque seco tropical en la finca Betanci –Gucamayás (Córdoba). Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, Colombia. 36 p.

- Mostacedo B. y T.S. Fredericksen. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. BOLFOP, Santa Cruz, Bolivia. 87 p.
- Mueller T., J. Lenz, T. Caprano, W. Fiedler y K. Böhning-Gaese. 2014. Large frugivorous birds facilitate functional connectivity of fragmented landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 51; 684–692.
- Ochoa-Gaona, S., H. Ruíz-González, D. Álvarez-Montejo, G. Chan Coba y B.H.J de Jong. 2018. Árboles de Calakmul. El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. 244 pp.
- Orellana, R., F. Nava y C. Espadas. 2007. El clima de Cozumel y la Riviera Maya. Cap. 1:23-32. En: Mejía-Ortiz (Ed). Biodiversidad acuática de la Isla de Cozumel, 422 pp. Universidad de Quintana Roo-Plaza y Valdés, México D.F. ISBN-978-968-7864-95-2.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2004. Inventario Forestal Nacional. Manual de campo modelo. FAO, Guatemala. 89 p.
- Orozco L.C.L. 1999. Caracterización de síndromes de dispersión endozoócora en frutos carnosos de la estación científica Las Joyas (ECLJ) Sierra de Manantlán, Jalisco (tesis de licenciatura). Universidad de Guadalajara, Jalisco, México.
- Pacheco-Vargas, G. y S. Losada-Prado. 2015. Efecto del ruido del tráfico vehicular en cantos de *Hylophilus flavipes* y *Cyclarhis gujanensis*. *Revista Ciencia en Desarrollo*, 6 (2): 177-183.

- Patiño C.P. 2008. Estructura y composición de árboles y lianas de la selva mediana subcaducifolia de la Isla Cozumel, Quintana Roo (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de México, México.
- Pearson, D.E. 2009. Biological Invasions on Oceanic Islands: Implications for Island Ecosystems and Avifauna. Tercer simposio internacional sobre aves migratorias y aves marinas en peligro: especies invasoras y conservación de ecosistemas insulares, Mokpo, Korea. 16 p.
- Pennington T.D. y J. Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. Fondo de la Cultura económica, 3ra ed. México. 523 p.
- Perea R. 2012. Dispersión y predación de semillas por la fauna: Implicaciones en la regeneración forestal de bosques templados. *Ecosistemas* 21(1-2): 224-229.
- Peres C.A., T. Emilio, J. Schietti, S.J.M. Desmoulière y T. Levi. 2016. Dispersal limitation induces long-term biomass collapse in overhunted Amazonian forests. *PNAS*, 113 (4): 892-897.
- Perdomo V.E. 2006. Caminos como barreras para el movimiento de aves y efecto del huracán Wilma en una comunidad de aves de sotobosque de la selva mediana subcaducifolia de la isla Cozumel (tesis de maestría). Universidad Autónoma de México, Morelia, Michoacán.
- Pickett S.T. y P.S. White (eds). 1985. *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press, USA. 472 p.
- QGIS. 2019. Versión 3.2.2. 19 marzo, 2019. <https://qgis.org/es/site/>

- Ratiarison S. y P. Forget. 2011. Fruit availability, frugivore satiation and seed removal in 2 primate-dispersed tree species. *Integrative Zoology*, 6: 178-194.
- Revilla, T.A. y F. Encinas-Viso. 2015. Ecología y evolución de la endozoocoria. *Acta Biol. Venez.*, 35 (2):187-215.
- Rey, P.J. 1995. Spatio-temporal variation in fruit and frugivorous bird abundance in olives orchards. *Ecology*, 76, 1625-1635.
- Rodríguez, G.R. 2017. Ecología de forrajeo de las aves frugívoras en *Bursera* en un bosque tropical caducifolio del alto balsas de guerrero. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Ciencias Químico-Biológicas. 64 p.
- Rodríguez-Sánchez P.V., S.I. Levy T., N. Ramírez-Marcial y E. Estrada-Lugo. 2018. Análisis comparativo de la vegetación de fundo legal y la vegetación madura en el poblado de Yaxcabá, Yucatán, México. *Botanical Sciences* (en revisión).
- Romero-Nájera I. 2004. Distribución, abundancia y uso de hábitat de *Boa constrictor* introducida a la isla Cozumel (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Ruiz, J. 2010. Ecología de dispersión y reclutamiento de bosques húmedos tropicales. *Wani*, 59: 19-30.
- Rzedowski J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 pp.
- Sánchez-Sánchez, O. y G.A. Islebe. 2002. Tropical forest communities in southeastern Mexico. *Plant Ecology* 158: 183–200.



Sánchez Sánchez, O., G.A. Islebe y M. Valdez-Hernández. 2007. Flora arbórea y caracterización de gremios ecológicos en distintos estados sucesionales de la selva mediana de Quintana Roo. *Foresta Veracruzana*, 9 (2): 17- 26.

Secretaría de caminos y transportes. 1991. Manual de Proyecto geométrico de carreteras. SCT, México. 755 p.

Secretaría de caminos y transportes, 2007. Carretera perimetral de Cozumel, km 30+000 al km 44+000, isla de Cozumel, Quintana Roo. SCT, México. 150 p.

Sekercioglu H.C. 2006. Increasing awareness of avian ecological function. *Trends in Ecology and Evolution*, 21 (8): 464-471.

SEMARNAT. 2009. Catálogo ilustrado de las especies vegetales para Quintana Roo enunciadas en la NOM-059-ECOL-94. Consultada: 10 de abril de 2019. [biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CG000727.pdf](http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CG000727.pdf)

Soler E.P., J.L. Berroterán, J.L. Gil y R.A. Acosta. 2012. Índice de valor de importancia, diversidad y similaridad florística de especies leñosas en tres ecosistemas de los llanos centrales de Venezuela. *Agronomía Trop.*, 62 (1-4): 25-37.

Staller E. I., W. E. Palmer, J.P. Carroll, R.P. Thornton, and D.C. Sisson. 2005. Identifying predators at Northern Bobwhite nests. *Journal of Wildlife Management* 69(1). [https://doi.org/10.2193/0022-541X\(2005\)069<0124:IPANBN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0022-541X(2005)069<0124:IPANBN>2.0.CO;2)

The Plant List. 2013. Consultada: 1 de enero de 2018. Version 1.1. <http://www.theplantlist.org/>.

- Téllez-Valdés O. y E.F. Cabrera Cano. 1987. Listados florísticos de México. VI. Flórula de la Isla de Cozumel, Q. R. Universidad Nacional autónoma de México, México D.F.
- Téllez-Valdés O., E.F. Cabrera, E. Linares y R. Bye. 1989. Las Plantas de Cozumel: guía botánico turística de la Isla de Cozumel, Quintana Roo. Universidad Autónoma de México. 45 p.
- Trolliet F., P. Forget, J. Doucet, J. Gillet y A. Hambuckers. 2017. Frugivorous birds influence the spatial organization of tropical forests through the generation of seedling recruitment foci under zoochoric trees. *Acta Oecologica*, 85: 69-76.
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. Consultada: 10 Mar 2019. <http://www.tropicos.org>
- Uriarte M., M. Anciaes, M.T.B. da Silva, P. Rubim, E. Johnson y E.M. Bruna. 2011. Disentangling the drivers of reduced long-distance seed dispersal by birds in an experimentally fragmented landscape. *Ecology*, 92 (4): 924–937.
- Van der Pijl L. 1972. Principles of dispersal in higher plants. Editorial Springer-Verlag, 2ª ed., Berlin. 162 p.
- Vázquez-Domínguez, E. 2012. Cozumel y sus murciélagos, una joya de biodiversidad. Fecha de publicación: 24 de agosto de 2012, fecha de consulta: 23 de mayo de 2019. Disponible en: <http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/index.php/todos-los-numeros/articulos-anteriores/49-cozumel-y-sus-murcielagos>
- Vélez T.A. 2010. Diagnóstico de árboles urbanos y propuesta de plan de manejo en el municipio de León, Guanajuato (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de Chapingo, México.

Vester H.F.M. y Ma. A. Navarro-Martínez. 2007. Fichas ecológicas: árboles maderables de Quintana Roo. Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica, CONACYT, Gobierno del Estado de Quintan Roo, Quintana Roo, México. 139 p.

Wallace, R.B. y R.L.E. Painter. 2003. Metodologías para medir la fenología de fructificación y su análisis con relación los animales frugívoros. Serie metodología, número 2, Bolivia. 14 p.

Williamson, M. 1996. Biological invasions. Editorial Chapman & Hall, UK. 244 p.

Zamora-Crescencio, P. 2008. Estructura y composición florística de la selva mediana subcaducifolia en el sur del estado de Yucatán, México. Polibotánica, 26: 39-66.

Zamora-Crescencio P., V. Rico-Gray, R. C. Barrientos-Medina, E.C. Puc-Garrido, P. Villegas, M. del R. Domínguez-Carrasco y C. Gutiérrez-Báez. 2017. Polibotánica, 43: 67-86.

Zarco-Espinosa V.M., J.I. Valdez-Hernández, G. Ángeles-Pérez y O. Castillo-Acosta. 2010. Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. Universidad y Ciencia, 26 (1): 1-17.

# ANEXOS

**ANEXO A.** Listado de las especies leñosas registradas en la selva mediana subcaducifolia de isla Cozumel.

Hábito: Ar.= árbol, Arb.= arbusto. Tipo de fruto: ba= baya, cd= cápsula dehiscente, dr= drupa, fo=folículo, si= sícono, va= vaina, N/D= no determinado.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Hábito	Tipo de fruto
Anacardiaceae	<i>Metopium brownei</i>	Chechem, Box chechem	Ar.	dr
Apocynaceae	<i>Plumeria obtusa</i>	Flor de mayo silvestre, Nikté ch'oom	Arb.	va
	<i>Thevetia gaumeri</i>	Campanilla, Cojón de gato, aak'its	Arb.	fo
Araliaceae	<i>Dendropanax arboreus</i>	Tsiimin che', sak chakaj	Arb.	dr
Bignoniaceae	<i>Tabebuia chrysantha</i>	Mauche', Jajauche', K'an lool, K'an lool K'aax	Arb.	va
Boraginaceae	<i>Cordia dodecandra</i>	Siricote, K'opté, Chak k'opté	Ar.	dr
Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i>	Chakaj, Chak chakaj	Ar.	cd
Capparaceae	Morfoespecie 22	N/D	Ar.	N/D
Celastraceae	<i>Semialarium mexicanum</i>	Chun tok, Sak boob, Cancerina	Ar.	cd
	Morfoespecie 29	N/D	Ar.	N/D
Ebenaceae	<i>Diospyros verae-crucis</i>	Pisiit, Uchul ché	Ar.	ba
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum rotundifolium</i>	Ikil ché, Baak soots', X-ik'ché	Ar.	dr
Euphorbiaceae	<i>Gymnanthes lucida</i>	Yayté, Yaytik	Arb.	cd
	<i>Jatropha gaumeri</i>	Pomol che'	Arb.	cd
Fabaceae	<i>Ateleia gummifera</i>	Guamacillo, Guayacancillo bobo, Rala de gallina	Ar.	va
	<i>Caesalpinia gaumeri</i>	Kitinché	Ar.	va
	<i>Caesalpinia mollis</i>	Viga, Brazil, Brazileto, Chak te'	Ar.	va
	<i>Gliricidia sepium</i>	Sak ya'ab, Balché keej, Coccoite	Ar.	va
	<i>Lysiloma latisiliquum</i>	Tsalam	Ar.	va

	<i>Piscidia piscipula</i>	Ja'abin	Ar.	va
	<i>Swartzia cubensis</i>	K'aatal oox, Corazón azul	Arb.	va
	Morfoespecie 17	N/D	Ar.	N/D
Malpighiaceae	<i>Byrsonima bucidaefolia</i>	Sak paj, nance silvestre, nance blanco	Arb.	dr
Malvaceae	<i>Ceiba aesculifolia</i>	Piin, pochote	Ar.	cd
Meliaceae	<i>Trichilia hirta</i>	K'ulin siis, Cabo de hacha	Ar.	cd
Moraceae	<i>Ficus obtusifolia</i>	Sak' awaj, Higuerrilla	Ar.	si
Myrtaceae	<i>Psidium sartorianum</i>	Kabal sak lob che', Pichiche', Guayabillo	Arb.	ba
	<i>Eugenia karwinskyana</i>	Desconocido	Arb.	ba
Nyctaginaceae	Morfoespecie 7	N/D	Ar.	N/D
Oleaceae	Morfoespecie 19	N/D	Ar.	N/D
Polygonaceae	<i>Coccoloba cozumelensis</i>	Boob, Boob chí'ich', Sak boob	Ar.	dr
	<i>Coccoloba diversifolia</i>	Ch'iich'boob, Sak boob	Ar.	dr
	<i>Coccoloba swartzii</i>	Sak boob	Ar.	dr
	<i>Coccoloba acapulcensis</i>	Tóon yúul, Toj yuub, X-tojyub	Arb.	dr
	<i>Gymnopodium floribundum</i>	Ts'í'ts'ilché	Arb.	N/D
	Morfoespecie 28	N/D	Ar.	N/D
Rhamnaceae	<i>Krugiodendron ferreum</i>	Chintok', Quiebra hacha	Arb.	dr
Rubiaceae	<i>Guettarda elliptica</i>	Pichi'ché, Subin t'eel, X-kibché	Ar.	dr
	<i>Guettarda combsii</i>	Tasta'ab, Manzanillo	Arb.	dr
	<i>Randia longiloba</i>	Aak'aax, K'aax, Cruz k'iix	Arb.	ba
	Morfoespecie 30	N/D	Ar.	N/D
Rutaceae	<i>Esenbeckia pentaphylla</i>	Naranja ché, Jo'k'ó	Arb.	cd
Sapindaceae	<i>Exothea diphylla</i>	Guayo; Wayuum, Gayuum koox	Arb.	dr

	<i>Thouinia paucidentata</i>	K'anchunuup	Arb.	cd
Sapotaceae	<i>Sideroxylon foetidissimum</i>	Caracolillo, sibil	Ar.	dr
	<i>Manilkara zapota</i>	Zapote, chicozapote, Ya´	Ar.	ba
	<i>Pouteria campechiana</i>	K'anisté, Zapote amarillo, Ja'as ché	Ar.	ba
	<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	Zapotillo; Baalche'kéej, Ja'as tooch, Pak' aal che'	Ar.	dr
	Morfoespecie 24	N/D	Ar.	N/D
Simaroubaceae	<i>Simarouba glauca</i>	Pa'sak, pistache, negrito	Ar.	dr
	Morfoespecie 20	N/D	Ar.	N/D
	Morfoespecie 2		Ar.	N/D
	Morfoespecie 6		Ar.	N/D
	Morfoespecie 18		Ar.	N/D
	Morfoespecie 23		Ar.	N/D
	Morfoespecie 27		Ar.	N/D
	Morfoespecie 31		Ar.	N/D

**ANEXO B.** Valores del índice de abundancia relativa total, en dosel y en sotobosque de todas las especies de vertebrados registradas en la selva mediana subcaducifolia de isla Cozumel.

Especie	<i>Manilkara zapota</i>			<i>Sideroxylon foetidissimum</i>			<i>Vitex gaumeri</i>			<i>Metopium brownei</i>		
	IARt	IARd	IARsb	IARt	IARd	IARsb	IARt	IARd	IARsb	IARt	IARd	IARsb
<i>Crax rubra griscomi</i>	0	0	0	4.28	0	4.92	23.06	0	26.78	0	0	0
<i>Leptotila jamaicensis</i>	65.63	0	78.03	70.76	0	78.55	124.13	0	143.28	33.07	0	38.56
<i>Melanerpes pygmaeus pygmaeus</i>	4.53	5.24	0	22.61	26.18	0	0	0	0	0	0	0
<i>Melanoptila glabrirostris cozumelae</i>	46.66	5.20	49.13	56.80	5.32	62.39	77.96	64.60	25.86	30.05	7.45	28.01
<i>Myiarchus sp.</i>	0	0	0	8.87	10.23	0	0	0	0	0	0	0
<i>Patagioenas leucocephala</i>	0	0	0	85.67	98.36	0	0	0	0	0	0	0
<i>Seiurus aurocapilla</i>	4.53	0	5.24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Spindalis zena benedicti</i>	8.84	10.20	0	4.28	4.92	0	8.63	5.52	0	0	0	0
<i>Vireo magister</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.48	5.18	0
<i>Canis lupus familiaris</i>	26.83	0	31.00	4.28	0	4.92	18.56	0	21.58	4.79	0	68.70
<i>Cuniculus paca</i>	136.55	0	159.27	193.32	0	225.12	318.05	0	369.36	167.64	0	196.07
<i>Dasyprocta punctata</i>	14.08	0	16.42	58.27	0	67.39	32.03	0	37.16	30.42	0	37.25
<i>Dasypus novemcinctus</i>	215.57	0	250.28	120.36	0	141.38	346.72	0	402.00	84.59	0	98.53
<i>Didelphis marsupialis cozumelae</i>	163.84	0	191.50	39.67	0	46.75	151.40	0	174.87	46.96	0	56.44
<i>Leopardus wiedii</i>	4.84	0	5.67	8.55	0	9.82	18.03	0	20.86	8.97	0	10.37
Murciélago	5.12	6.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nasua narica nelsoni</i>	302.95	80.14	275.08	296.53	0	346.94	1533.13	172.09	1606.41	175.55	5.60	199.52



<i>Odocoileus virginianus</i>	0	0	0	8.62	0	9.91	32.05	0	37.19	4.79	0	5.60
<i>Pecari tajacu nanus</i>	178.41	0	207.35	460.50	0	533.77	248.95	0	289.13	93.90	0	109.36
<i>Potos flavus</i>	376.51	435.24	0	150.89	181.34	0	162.68	189.16	0	0	0	0

---



**Anexo C.** Manuscrito sometido a la Revista Mexicana de Biodiversidad derivado de la tesis monográfica.

1 GonzalezOrtega-Gamboa et al.- Ensamblajes de vertebrados frugívoros de isla Cozumel

2

3 **Mecanismos que inciden en los ensamblajes de vertebrados frugívoros de la selva mediana**  
4 **subcaducifolia de isla Cozumel**

5

6 Mechanisms that affect the assemblages of frugivorous vertebrates in the tropical semi-deciduous  
7 forest of Cozumel Island

8

9 Thalia Gonzalez Ortega-Gamboa<sup>a,c</sup>, iD ORCID: 0000-0002-3674-4963

10 Neptalí Ramírez-Marcial<sup>a,d</sup>, iD ORCID: 0000-0003-1793-0178

11 Martha Angélica Gutiérrez-Aguirre<sup>b,g</sup>, iD ORCID: 0000-0002-9329-820X

12 Alejandro Luis Collantes Chávez-Costa<sup>b,f</sup>, iD ORCID: 0000-0003-4067-6307

13 Miguel Angel Martínez-Morales<sup>a,e,\*</sup> iD ORCID: 0000-0003-4140-728

14

15 <sup>a</sup> El Colegio de la Frontera Sur, unidad San Cristóbal. Departamento de Conservación de la

16 Biodiversidad. Carr. Panamericana y Periférico Sur s/n, Barrio María Auxiliadora, San Cristóbal

17 de las Casas, 29290, Chiapas, México. [th.gonzalez.ortega.gamboa@gmail.com](mailto:th.gonzalez.ortega.gamboa@gmail.com);

18 [nramirezm@ecosur.mx](mailto:nramirezm@ecosur.mx); [mmartinez@ecosur.mx](mailto:mmartinez@ecosur.mx)

19 <sup>b</sup>Universidad de Quintana Roo, unidad Cozumel. División de Desarrollo Sustentable,

20 Departamento de Ciencias y Humanidades. Av. Andrés Quintana Roo, Calle 11 con Calle 110

21 Sur s/n, Colonia San Gervasio, Cozumel, 77600, Quintana Roo, México.

22 [fcollants@uqroo.edu.mx](mailto:fcollants@uqroo.edu.mx); [smargutierrez@uqroo.edu.mx](mailto:smargutierrez@uqroo.edu.mx)

23

## 24 **Resumen**

25 La frugivoría es un proceso ecológico que puede significar una interacción mutualista entre la  
26 planta y el consumidor de sus frutos, lo que puede tener implicaciones importantes en la  
27 estructura, composición y dinámica de las comunidades ecológicas. La disponibilidad de frutos  
28 varía espacio-temporalmente, por lo que resulta relevante entender los principales factores que  
29 inciden en el proceso de frugivoría, pues en muchas ocasiones en estas variaciones inciden  
30 factores antrópicos. El presente estudio buscó entender la relación que existe entre los ensambles  
31 de vertebrados frugívoros con variables de la vegetación leñosa de la selva mediana  
32 subcaducifolia y con variables abióticas y antrópicas en la isla Cozumel. Mediante el foto-  
33 trampeo se registró el ensamble de vertebrados frugívoros en 60 árboles focales de cuatro de las  
34 principales especies arbóreas de dosel de la isla: *Manilkara zapota*, *Sideroxylon foetidissimum*,  
35 *Vitex gaumeri* y *Metopium brownei*. La composición y estructura del ensamble se correlacionó  
36 con variables explicativas mediante técnicas de ordenación. Se concluyó que algunas de las  
37 especies leñosas, principalmente aquellas con frutos zoócoros y en segundo lugar, las distancias a  
38 disturbios antrópicos inciden de manera importante en la abundancia y presencia de las especies  
39 de vertebrados frugívoros registrados.

40 **Palabras clave:** Dispersión de semillas, frutos, disturbio antrópico, mutualismo, zoocoria,  
41 depredación

42

43

44

45 **Abstract**

46 Frugivory is an ecological process that can represent a mutualistic interaction between the plant  
47 and the consumer of its fruits, which may also have important implications on the structure,  
48 composition, and dynamics of ecological communities. The availability of fruits varies in time  
49 and space; thus, it is important to understand the main factors that influence the frugivory  
50 process, since in many cases these variations are affected by anthropogenic factors. The present  
51 study was aimed at understanding the relationship that exists between the assemblages of  
52 frugivorous vertebrates with variables of the woody vegetation of the tropical semi-deciduous  
53 forest and with abiotic and anthropic variables on Cozumel Island. Through camera-trapping, the  
54 assembly of frugivorous vertebrates was recorded in 60 focal trees in four of the main canopy  
55 tree species on the island: *Manilkara zapota*, *Sideroxylon foetidissimum*, *Vitex gaumeri*, and  
56 *Metopium brownei*. The composition and structure of the assembly was correlated with  
57 explanatory variables using ordination analysis. It was concluded that some woody species  
58 mainly those with zoocorous fruits, and the distances to anthropogenic disturbances have an  
59 important influence on the abundance and presence of the recorded frugivorous vertebrate  
60 species.

61 **Keywords:** seed dispersal, fruits, anthropogenic disturbance, mutualistic interactions, zoochory,  
62 seed predation

63

64 **Introducción**

65 El término frugivoría se refiere al proceso en el que los animales consumen frutos,  
66 cualquiera que sea el grado de consumo; es decir, sólo la pulpa o el fruto entero con o sin daño a  
67 las semillas (Caziani, 1996). La frugivoría representa tanto el inicio del proceso de dispersión de  
68 semillas de plantas endozoócoras como el comienzo de la interacción planta-dispersor (González-

69 Varo et al., 2015); sin embargo, no siempre que ocurren eventos de frugivoría hay dispersión de  
70 semillas (Hernández-Jaramillo et al., 2012; Perea, 2012).

71 La disponibilidad de frutos en los bosques tropicales varía en el espacio y en el  
72 tiempo tanto cuantitativa como cualitativamente, lo que incide en los patrones de frugivoría  
73 (Ratiarison y Forget, 2011). Asimismo, la composición del ensamble de frugívoros y su dieta  
74 muestran variaciones espacio-temporales, lo que resulta en cambios en los patrones de dispersión  
75 de semillas. Adicionalmente, los patrones espaciales de deposición de semillas están  
76 influenciados por la morfología de las especies dispersoras y su comportamiento de forrajeo. Es  
77 por estas variaciones espacio-temporales en los elementos que integran el proceso de frugivoría  
78 que resulta relevante entender los principales factores que inciden en dicho proceso. Estudios  
79 previos han enfatizado la importancia de estudiar el proceso de frugivoría y la posterior  
80 dispersión de semillas con un enfoque espacial; por ejemplo, Rey (1995) menciona que los  
81 frugívoros estudiados a una escala espacial fina pueden ser afectados por la disponibilidad de  
82 recursos a una escala más amplia.

83 La frugivoría es un tema relevante para la ecología y la conservación de la diversidad  
84 de flora y fauna que dependen de esta interacción. Se estima que la fauna frugívora participa en la  
85 dispersión de las semillas del 80% de las especies leñosas en bosques templados y del 40 al 90%  
86 en selvas tropicales (Sekercioglu, 2006; Correa-Cortés y Uriarte, 2013; Peres et al., 2016). De  
87 acuerdo con Jordano (2000), los vertebrados están asociados con el 70 al 94% de la dispersión de  
88 semillas de especies leñosas en el Neotrópico, del 82 al 88% de especies leñosas australianas y  
89 del 80% de especies leñosas de los bosques lluviosos de África. A pesar de ello, la pérdida de la  
90 diversidad de especies frugívoras y de muchos otros grupos funcionales es cada vez más  
91 acelerada. Esta pérdida está relacionada con disturbios antrópicos como la fragmentación de

92 hábitat, el cambio en el uso del suelo, invasiones biológicas y cambio climático (McConkey et  
93 al., 2012).

94           En este estudio se planteó analizar cómo factores ambientales naturales y antrópicos  
95 inciden en la presencia y abundancia de los vertebrados frugívoros de la selva mediana  
96 subcaducifolia de la isla Cozumel. Son varios los estudios relacionados con vertebrados y  
97 vegetación que se han realizado en la isla (e. g., Martínez-Morales, 1996; González-Baca, 2006;  
98 Cuarón et al., 2009; Téllez y Cabrera, 1987; Patiño, 2008); sin embargo, en ninguno de ellos se  
99 ha abordado el proceso de frugivoría, ni incluso desde una perspectiva de ensamble funcional. En  
100 este sentido, es relevante el desarrollo de investigaciones que contribuyan a entender procesos  
101 ecológicos como la frugivoría y las variables que puedan estar incidiendo en la presencia y  
102 abundancia de las especies de este grupo funcional. Asimismo, es fundamental el entender este  
103 tipo de procesos en sistemas únicos y frágiles como los insulares, en donde la conservación de su  
104 muy particular diversidad biológica depende de procesos ecológicos como la frugivoría, que  
105 generalmente ocurren en paisajes antropizados.

106

## 107 **Metodología**

108 *Área de estudio.* Cozumel es una isla de casi 480 km<sup>2</sup>, se encuentra a 17.5 km de la costa noreste de  
109 la península de Yucatán en el Caribe mexicano, separada por el canal de Cozumel el cual tiene  
110 una profundidad de aproximadamente 300 m (figura 1; Cuarón et al., 2004; Romero-Nájera,  
111 2004). El clima es cálido húmedo con lluvias en verano. Durante el verano ocurre una  
112 disminución de la presión atmosférica en el mar Caribe y Atlántico Oriental, lo que genera  
113 huracanes. A finales del verano, la zona está altamente influenciada por los frentes fríos, algunos  
114 de los cuales depositan una cantidad importante de lluvia invernal (Orellana et al., 2007). La  
115 precipitación promedio anual es de poco más de 1 600 mm; los meses más secos son marzo y

116 abril, y septiembre es el mes con mayor cantidad de lluvia (Romero-Nájera, 2004; Orellana et al.,  
117 2007).

118 Los principales tipos de vegetación de la isla son la selva mediana subcaducifolia,  
119 selva baja subcaducifolia, manglar, tular, vegetación de dunas costeras y tasistal (Téllez et al.,  
120 1989). En 2004, la selva mediana subcaducifolia ocupaba un área de 310 km<sup>2</sup> (Romero-Nájera,  
121 2004). La selva mediana subcaducifolia de la isla corresponde a la región florística Caribeña y  
122 provincia florística de la Península de Yucatán. Se considera que posee afinidades florísticas con  
123 las provincias de la costa del Pacífico y de la costa del Golfo de México, pero principalmente con  
124 la provincia de Las Antillas (Rzedowski, 2006). Cozumel es la isla mexicana con mayor cantidad  
125 de endemismos, posee más de 30 taxa de vertebrados endémicos (Martínez-Morales, 1996;  
126 González-Baca, 2006; Cuarón et al., 2009), principalmente de aves y mamíferos. Sin embargo,  
127 esta diversidad biológica es amenazada por diversos factores que pueden actuar de manera  
128 sinérgica como la introducción de especies exóticas, la destrucción y fragmentación del hábitat  
129 principalmente por la construcción y ampliación de caminos, el crecimiento de la población  
130 humana que demanda de bienes y servicios, y la incidencia de huracanes.

131 El área en donde se desarrolló este estudio fue en uno de los cinco ejes de la zona de  
132 captación de agua de la isla, los cuales parten perpendicularmente de la carretera transversal que  
133 atraviesa la isla y la divide en dos porciones. Tres de los ejes se extienden hacia la parte norte de  
134 la isla y los otros dos hacia la parte sur. Se eligió uno de los ejes de la porción sur (figura 1). Los  
135 principales criterios para elegir dicho eje fueron que se ubica en un área con cobertura vegetal  
136 relativamente homogénea de selva mediana subcaducifolia y que es el eje de captación que se  
137 encuentra más alejado del principal asentamiento urbano. Este eje de captación en particular es  
138 atravesado perpendicularmente por 11 ejes secundarios. Entre cada eje secundario existe una  
139 separación de aproximadamente 600 m, con excepción del primero y segundo (a partir de la



140 carretera) que es de 900 m. En algunos de los ejes secundarios hay bombas en funcionamiento  
141 para la extracción de agua de los pozos; en consecuencia, estos ejes secundarios están  
142 continuamente en mantenimiento.

143  
144 *Especies arbóreas focales.* Las especies arbóreas focales sobre las que se evaluó el ensamble de  
145 vertebrados frugívoros fueron *Manilkara zapota*, *Sideroxylon foetidissimum*, *Vitex gaumeri* y  
146 *Metopium brownei*, que son algunas de las principales especies arbóreas de dosel de la isla. Los  
147 criterios para seleccionar estas especies fueron tres: (1) especies de dosel de la selva mediana  
148 subcaducifolia, (2) especies con frutos que presenten el síndrome de dispersión por zoocoria y (3)  
149 especies que estuvieran en fructificación durante el periodo en el que se realizó el trabajo de  
150 campo. De estas especies se seleccionaron individuos con un DAP  $\geq 10$  cm y en fructificación.  
151 En estos individuos arbóreos focales se colocaron las trampas-cámara para el muestreo del  
152 ensamble de vertebrados frugívoros y se establecieron parcelas circulares para caracterizar la  
153 vegetación.

154  
155 *Foto-trampeo.* El foto-trampeo se llevó a cabo de enero a noviembre de 2018 para el registro de  
156 los vertebrados frugívoros que hacen uso de los frutos de *M. zapota*, *S. foetidissimum*, *V. gaumeri*  
157 y *M. brownei* a nivel de dosel y de sotobosque. Se utilizaron 46 trampas-cámara marca  
158 Cuddeback modelo E3; todas fueron programadas para estar activas de manera continua y con un  
159 período de espera de un minuto entre activaciones. La ubicación de cada una de las trampas-  
160 cámara fue georreferenciada con un dispositivo de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en  
161 inglés. Una vez colocadas se revisaron cada 15 días. Las cámaras fueron colocadas y puestas en  
162 funcionamiento de acuerdo con la temporada de fructificación de cada especie; es decir, en el  
163 momento en que se observaron los individuos con frutos. En el caso de los individuos focales de

164 *M. zapota* y *V. gaumeri* se ubicaron 22 individuos; mientras que para *S. foetidissimum* y *M.*  
165 *brownei* se localizaron 10 y 6 individuos focales respectivamente. Los individuos focales de *M.*  
166 *zapota* se monitorearon durante los meses de enero a abril, los de *S. foetidissimum* de marzo a  
167 julio, los de *V. gaumeri* de mayo a octubre y los de *M. brownei* de agosto a noviembre. Las  
168 trampas-cámara de dosel se colocaron sobre ramas seleccionadas de tal manera que su posición  
169 permitiera dirigir la cámara hacia cúmulos de frutos, mientras que las de sotobosque se colocaron  
170 en el tronco de un árbol a una altura de 40 a 50 cm del suelo, de tal manera que enfocara un área  
171 del suelo con frutos caídos del árbol focal. Las cámaras colocadas en el dosel se programaron  
172 para la grabación de videos de 20 seg., mientras que las colocadas en el sotobosque grabaron  
173 videos de 30 seg. Las cámaras fueron programadas de esa manera para optimizar la duración de  
174 las baterías y de los dispositivos de almacenamiento, ya que las cámaras de dosel se solían activar  
175 con el movimiento del follaje. El esfuerzo de muestreo por especie arbórea focal (tabla 1) se  
176 calculó multiplicando el número total de cámaras activas en cada especie focal por el número  
177 total de días que estuvieron activas (Medellín et al., 2006; Lira-Torres et al., 2014; Hernández-  
178 Pérez et al., 2015).

179 Los criterios para considerar los registros de vertebrados frugívoros como  
180 independientes fueron: (1) videos consecutivos donde se pudiese identificar a los individuos  
181 como diferentes; (2) videos de una misma especie de frugívoro en un árbol focal con una  
182 separación de al menos 7 días; (3) en los videos donde se registraron varios individuos de la  
183 misma especie, cada individuo fue considerado como un evento independiente de frugivoría, y  
184 (4) registros correspondientes a distintos árboles focales.

185  
186 *Estimación de la abundancia de las especies frugívoras.* Para calcular el índice de abundancia  
187 relativa (IAR) de las especies frugívoras detectadas se utilizaron los registros independientes de

188 las especies de fauna presentes en cada árbol focal. La fórmula empleada en el cálculo del IAR  
189 fue la siguiente:

$$190 \text{ IAR} = 10(C/\log EM)$$

191 Donde:

192 C = número de registros independientes

193 EM= esfuerzo de muestreo (días-cámara)

194 Al esfuerzo de muestreo se le aplicó el logaritmo base 10 ya que la relación entre el  
195 IAR y el esfuerzo de muestreo no necesariamente es lineal y se magnifica cuando existen  
196 diferencias grandes de esfuerzo de muestreo entre las especies arbóreas focales.

197

198 *Parcelas de vegetación.* Los individuos arbóreos focales definieron el centro de cada parcela  
199 circular para caracterizar la vegetación. Las parcelas tuvieron un radio de 15 m (0.07 ha), se  
200 ubicaron al final de los ejes secundarios del eje principal de captación de agua y se  
201 georreferenciaron con un dispositivo GPS. En total se establecieron 60 parcelas (figura 2). En  
202 estas parcelas se registraron todas las especies leñosas y sus datos dasométricos. Se registraron  
203 los individuos arbóreos presentes dentro de las parcelas, su estado fenológico y dos datos  
204 dasométricos: diámetro a nivel del pecho (DAP) y altura. En los árboles policaulescentes cuyas  
205 ramas se originan por debajo de 1.30 m se tomó la circunferencia de todos los troncos vivos.  
206 Cuando se presentaron casos particulares en la medición del DAP debido a la morfología o  
207 posición del individuo, se recurrió a las técnicas sugeridas por la FAO (2004). Se consideró como  
208 árbol aquella planta perenne de tronco leñoso con una altura mínima de tres a seis metros que  
209 puede ramificarse desde el suelo o hasta una altura considerable de éste. Posee un eje principal, y  
210 una copa definida por tallos secundarios o ramas (Vélez, 2010); sin embargo, también se tomó en  
211 cuenta la arquitectura de las especies arbóreas tropicales (Vester, 2002; FAO, 2004; Patiño,

212 2008). Se asumió que los árboles con un DAP  $\geq 10$  cm representaban individuos reproductivos  
213 (Trolliet et al., 2017). Se calculó el área basal (AB) de los individuos de cada una de las especies  
214 arbóreas registradas en cada parcela para la posterior estimación de la dominancia y densidad  
215 relativas y absolutas por especie y parcela:

$$216 \quad AB = \pi(DAP^2/4)$$

217 La dominancia representa la importancia de una especie en función de su desarrollo o  
218 biomasa (Hernández et al., 2000):

$$219 \quad \text{Dominancia absoluta} = (\text{AB de una especie}) / (\text{Área muestreada})$$

$$220 \quad \text{Dominancia relativa} = (\text{Dominancia absoluta por especie}) / (\text{Dominancia absoluta de todas las} \\ 221 \text{ especies}) \times 100$$

222 La densidad es el número de individuos por unidad de área (Mostacedo y Fredericksen,  
223 2000; Zarco-Espinosa et al., 2010):

$$224 \quad \text{Densidad absoluta} = (\text{Número de individuos de una especie}) / (\text{Área muestreada})$$

$$225 \quad \text{Densidad relativa} = (\text{Densidad absoluta por cada especie}) / (\text{Densidad absoluta de todas las} \\ 226 \text{ especies}) \times 100$$

227 Los valores de dominancia y densidad relativas permitieron el cálculo del índice de  
228 valor de importancia (IVI) que representa la importancia ecológica relativa de las especies de  
229 plantas en una comunidad (Soler et al., 2012):

$$230 \quad \text{IVI} = \text{Dominancia relativa} + \text{Densidad relativa}$$

231 Para la identificación de las especies leñosas se contó con el apoyo en campo de un  
232 experto con conocimiento de las plantas y sus nombres en maya, el botánico Edilberto Ucan Ek  
233 con experiencia en taxonomía de la flora del sureste de México, Belice y Guatemala, y que ha  
234 trabajado para los herbarios del CICY, MEXU, UADY, Michigan University y de la Escuela de  
235 Agricultura de la ciudad de Guatemala. Asimismo, se fotografiaron todas las especies leñosas

236 presentes como referencia para su identificación. Para la identificación de los individuos arbóreos  
237 que no fue posible reconocer en campo se colectó una muestra botánica. La estandarización de  
238 los nombres científicos se realizó con base en The Plant List ([www.theplantlist.org](http://www.theplantlist.org)) y el Missouri  
239 Botanical Garden ([www.tropicos.org](http://www.tropicos.org)).

240  
241 *Riqueza y diversidad de especies arbóreas.* Se estimó la abundancia de cada una de las especies  
242 leñosas por parcela y con ello se elaboró una matriz con la que se calcularon los índices y  
243 estimadores de diversidad por parcela. Los números de Hill o número efectivo de especies calcula  
244 el número máximo posible de especies que podrían coexistir en una comunidad, si todas las  
245 especies tuvieran la misma abundancia. Se expresan como  $q=0$ ,  $q=1$  y  $q=2$ .  $q=0$  es equivalente a  
246 la riqueza de especies;  $q=1$ , representa el exponencial del índice de Shannon y  $q=2$ , se refiere al  
247 inverso del índice de Simpson (Hsieh et al., 2016).

248  
249 *Variables explicativas.* Las variables explicativas que se consideraron inicialmente en este  
250 estudio fueron 71 (tabla 2); 13 de ellas correspondieron a variables abióticas y de disturbio  
251 antrópico, mientras que las restantes a los valores del IVI de las 58 especies leñosas registradas  
252 (tabla 3). Se realizaron dos reducciones secuenciales de variables con el fin de considerar  
253 únicamente aquellas que podrían tener un mayor valor explicativo sobre los ensambles de  
254 vertebrados frugívoros. La primera reducción se hizo mediante la aplicación de pruebas de  
255 correlación entre las 13 variables abióticas y antrópicas con las pruebas de correlación  
256 paramétrica de Pearson y las no paramétricas de Spearman y Tau b de Kendall. De las 13  
257 variables, se seleccionaron nueve (correlación  $< 0.80$ ): cantidad de roca expuesta en suelo,  
258 cantidad de materia orgánica, distancia a la carretera transversal, distancia al borde de la selva,  
259 distancia al eje de captación de agua contiguo, funcionamiento y mantenimiento de las bombas de

260 agua, frecuencia de individuos policaulescentes, riqueza de especies leñosas y el inverso del  
261 índice de Simpson de la vegetación leñosa. Las distancias hacia los disturbios antrópicos se  
262 midieron a partir del árbol focal de cada una de las parcelas en un sistema de información  
263 geográfica (SIG). La cantidad de roca expuesta y materia orgánica en el suelo se registró  
264 cualitativamente considerando un rango de uno a tres y la frecuencia de individuos  
265 policaulescentes se calculó dividiendo el número de individuos policaulescentes registrados en  
266 cada una de las parcelas de vegetación entre el número total de individuos policaulescentes de  
267 todas las parcelas. La segunda reducción de variables explicativas se efectuó mediante el análisis  
268 de correspondencias canónicas (CCA). A partir de estos análisis se descartaron las variables  
269 explicativas con los menores valores de correlación obtenidos de manera particular para cada  
270 contexto de análisis (ver abajo).

271  
272 *Análisis de datos.* Los CCA se realizaron con base en 3 contextos analíticos: (1) todos los  
273 vertebrados frugívoros registrados y de éstos, (2) sólo los registrados en dosel y (3) sólo los  
274 registrados en sotobosque. En todos los contextos se utilizaron datos tanto de presencia como del  
275 IAR de los frugívoros. En lo que respecta a las matrices de variables explicativas, los datos se  
276 transformaron mediante la función  $y' = \log (y+1.1)$  con el fin de reducir la diferencia de  
277 magnitudes entre los valores de las variables.

278

## 279 **Resultados**

280 *Especies de fauna registradas.* El esfuerzo de muestreo total fue de 8 734 días-trampa; el  
281 esfuerzo de muestreo a nivel de dosel fue de 4 367 días-trampa y a nivel de sotobosque de 4 367  
282 días-trampa. El esfuerzo de muestreo por especie arbórea focal fue distinto para cada especie; *M.*  
283 *zapota* se muestreó durante los meses de enero a marzo (3 214 días-trampa); *S. foetidissimum* de

284 marzo a abril (1 290 días-trampa); *V. gaumeri* de mayo a julio (3 494 días-trampa) y *M. browni*  
285 de septiembre a octubre (736 días-trampa). Se obtuvieron 1 494 registros de fauna independientes  
286 (tabla 4).

287 Se registraron 20 especies entre aves y mamíferos en las 60 parcelas de muestreo. El  
288 grupo de las aves estuvo representado por 4 órdenes, 8 familias, 9 géneros y 9 especies; mientras  
289 que los mamíferos se agruparon en 6 órdenes, 9 familias, 10 géneros y 11 especies (tabla 5). De  
290 éstas, sólo 17 especies se consideraron como vertebrados frugívoros debido a que se registraron  
291 consumiendo los frutos de las especies arbóreas focales o de acuerdo con lo reportado en la  
292 literatura. En el caso particular de *Dasyus novemcinctus* se reporta que su dieta se basa  
293 principalmente en el consumo de insectos, tubérculos e incluso de algunos pequeños anfibios y  
294 reptiles (Mendoza, 2005; Mengak, 2005), así como huevos (Staller et al., 2005); sin embargo, en  
295 este estudio se consideró como especie frugívora debido a que se registró consumiendo los frutos  
296 de *M. zapota*. *Canis lupus familiaris*, *Leopardus wiedii* y *Seiurus aurocapilla* no se consideraron  
297 en los análisis de especies frugívoras debido a su dieta. *Nasua narica nelsoni* fue la especie más  
298 abundante, seguida de *Pecari tajacu nanus*, *Cuniculus paca*, *D. novemcinctus*, *Potos flavus* y  
299 *Didelphis marsupialis cozumelae*.

300 Las especies de vertebrados frugívoros registrados al nivel de dosel fueron 9: tres  
301 especies de mamíferos y 6 especies de aves; mientras que las especies frugívoras registradas en  
302 sotobosque fueron 10, de las cuales 7 fueron mamíferos y 3 aves (tabla 5). De las especies  
303 registradas a nivel de dosel, *P. flavus* fue la más abundante y *N. narica nelsoni* la segunda más  
304 abundante. Las especies *N. narica nelsoni*, *P. tajacu nanus*, *C. paca* y *D. novemcinctus* fueron las  
305 más abundantes registradas en sotobosque.

306 La especie arbórea focal donde se detectó un mayor número de especies de fauna fue  
307 *S. foetidissimum* con 17 especies, de las cuales 15 corresponden a frugívoros; en *M. zapota* se

308 registraron 15 especies, 12 de ellas frugívoras; en *V. gaumeri* 14 especies, de las cuales 12  
309 correspondieron a frugívoros, y en *M. brownei* 12 especies, de éstas 10 frugívoras.

310 *Nasua narica nelsoni* fue la especie más abundante registrada en *V. gaumeri*; *P. tajacu*  
311 *nanus* en *S. foetidissimum*; *P. flavus* en *M. zapota* y *C. paca* en *M. brownei*. A nivel de dosel, la  
312 especie más abundante en *M. zapota*, *S. foetidissimum* y *V. gaumeri* fue *P. flavus*, seguida de *N.*  
313 *narica nelsoni* registrada en *M. zapota*, *V. gaumeri* y *M. brownei*. *Patagioenas leucocephala*  
314 presentó una abundancia considerable sólo en *S. foetidissimum*. *Nasua narica nelsoni* fue la  
315 especie más abundante en sotobosque para las cuatro especies focales. *Pecari tajacu nanus* fue  
316 más abundante en *S. foetidissimum*.

317  
318 *Variables que inciden en el ensamble de vertebrados frugívoros.* El CCA con los datos de IAR de  
319 los vertebrados frugívoros mostró que las principales variables que podrían incidir en su  
320 abundancia son la frecuencia de individuos policaulescentes y las especies leñosas *Esenbeckia*  
321 *pentaphylla*, *Ficus obtusifolia*, *Guettarda elliptica*, *Piscidia piscipula* y *Tabebuia chrysantha*  
322 (tabla 6). *Crax rubra gricomi*, *Myiarchus sp.*, *S. zena benedicti* y *D. punctata* se relacionaron con  
323 las especies leñosas *P. piscipula*, *F. obtusifolia* y *E. pentaphylla*. De manera importante, *P.*  
324 *leucocephala* se relacionó con las especies leñosas *F. obtusifolia* y *E. pentaphylla*. Mientras que  
325 *P. flavus* parece ser más susceptibles a la frecuencia de individuos policaulescentes y a la especie  
326 arbórea *T. chrysantha* (fig. 3).

327 El CCA realizado con los datos de presencia de los vertebrados frugívoros sugiere  
328 que las principales variables que inciden son la cantidad de roca expuesta y las especies leñosas  
329 *Exothea diphylla*, *F. obtusifolia*, *G. elliptica*, *Pouteria campechiana*, *S. foetidissimum* y *T.*  
330 *chrysantha* (tabla 7). La especie leñosa *E. diphylla* resultó ser la variable más importante para los  
331 murciélagos. Para *Melanerpes pygmaeus pygmaeus* las principales variables que inciden en su



332 presencia son las especies leñosas *S. foetidissimum* y *G. elliptica*; mientras que para *C. rubra*  
333 *griscomi*, *P. leucocephala* y *S. zena benedicti* lo son las especies leñosas *P. campechiana*, *F.*  
334 *obtusifolia* y *T. chrysantha*; además de la cantidad de roca expuesta (fig. 4).

335 En el CCA realizado con datos de IAR de los vertebrados frugívoros registrados a  
336 nivel de dosel, las variables distancia al borde de la selva, la distancia al eje de captación de agua  
337 contiguo, el inverso del índice de Simpson de las especies leñosas y las especies leñosas  
338 *Erythroxylum rotundifolium*, *E. pentaphylla*, *F. obtusifolia*, *Guettarda combsii*, la morfoespecie 2  
339 y *P. campechiana* mostraron ser variables que podrían tener mayor incidencia (tabla 8). La  
340 abundancia relativa de *S. zena benedicti* estuvo más relacionada con el inverso del índice de  
341 Simpson de especies leñosas. Mientras que la abundancia relativa de *P. leucocephala* estuvo  
342 asociada con *F. obtusifolia* y *E. pentaphylla*, y en menor medida con *P. campechiana* y *G.*  
343 *combsii*. *Myiarchus* sp. se relacionó con las especies leñosas *P. campechiana* y *E. pentaphylla*,  
344 aparentemente la distancia al eje de captación de agua contiguo también incide en la abundancia  
345 relativa de esta ave. Las abundancias relativas de *M. pygmaeus pygmaeus*, *V. magister* y *P. flavus*  
346 se asociaron de manera importante con la morfoespecie 2 (fig. 5).

347 En el CCA realizado con los datos de presencia de los vertebrados frugívoros  
348 registrados a nivel de dosel, se obtuvo que las principales variables que podrían estar incidiendo  
349 son la cantidad de materia orgánica en el suelo, la distancia al borde de la selva y las especies  
350 leñosas *C. dodecandra*, *E. diphylla*, *G. combsii*, *Psidium sartorianum* y *S. foetidissimum* (tabla  
351 9). *Vireo magister* se relacionó de manera importante con la especie *P. sartorianum*. Esta especie  
352 leñosa se registró con poca frecuencia y las parcelas en las que estuvo presente se ubicaron  
353 alejadas de la carretera transversal y en ejes secundarios de captación de agua donde es menos  
354 frecuente el desmonte de los caminos para su mantenimiento y acceso a las bombas de extracción  
355 de agua. La presencia *S. zena benedicti* estuvo asociada con la cantidad de roca expuesta en el

356 suelo y con la especie *C. dodecandra*; el murciélagos lo estuvo con la especie leñosa *E diphylla*.  
357 Para *P. leucocephala*, *M. pygmaeus pygmaeus* y *Myiarchus* sp. fueron importantes las variables  
358 de distancia al borde de la selva y las especies leñosas *C. dodecandra* y *S. foetidissimum*. Es  
359 importante mencionar que *P. leucocephala* fue registrada alimentándose de manera frecuente de  
360 los frutos de *S. foetidissimum*, no se registró alimentándose de ninguna de las otras tres especies  
361 arbóreas focales (fig. 6).

362 De acuerdo con el CCA realizado con los IAR de los vertebrados frugívoros  
363 registrados en el sotobosque, la riqueza de especies leñosas y las especies leñosas morfoespecie  
364 2, *P. campechiana*, *S. foetidissimum*, *M. brownei*, *F. obtusifolia*, y *Coccoloba diversifolia* fueron  
365 las variables con mayor peso (tabla 10). *Leptotila jamaicensis*, *M. glabrirostris cozumelae*, *D.*  
366 *marsupialis cozumelae*, *D. novemcinctus* y *P. tajacu nanus* se asociaron de manera importante  
367 con las variables *M. brownei* y *S. foetidissimum*; mientras que *N. narica nelsoni*, con  
368 morfoespecie 2, *C. diversifolia*, y con la riqueza de especies leñosas. Las variables *F. obtusifolia*  
369 y *P. campechiana* se asociaron de manera importante con las especies *C. rubra griscomi* y *D.*  
370 *punctata* (fig. 7).

371 A partir del CCA con los datos de presencia de los vertebrados frugívoros registrados  
372 en el sotobosque fue posible determinar que las especies leñosas *F. obtusifolia*, *G. elliptica*, *P.*  
373 *campechiana*, *S. foetidissimum* y *T. chrysantha* podrían ser las principales variables explicativas  
374 (tabla 11). *Crax rubra griscomi* y *D. punctata* parecieron responder a las especies *F. obtusifolia* y  
375 *P. campechiana* de manera importante. La presencia de *O. virginianus* se asoció con las especies  
376 leñosas *T. chrysantha* y *G. elliptica*. La variable *S. foetidissimum* resultó estar asociada con las  
377 aves *L. jamaicensis* y *M. glabrirostris cozumeale* (fig. 8).

378

## 379 **Discusión**

380 La indagación de las variables potenciales que podrían incidir en la presencia y  
381 abundancia de los vertebrados frugívoros se realizó con base en diversos contextos analíticos. Al  
382 incluir a todos los frugívoros no fue claro detectar algún patrón de respuesta evidente. Sin  
383 embargo, cuando los análisis se realizaron en función del estrato de forrajeo, los patrones fueron  
384 relativamente más claros. En los análisis realizados con los frugívoros registrados a nivel de dosel  
385 se observó que hay un mayor número de variables que podrían estar incidiendo en su presencia y  
386 abundancia en comparación con lo que ocurre con los frugívoros registrados en sotobosque. A  
387 nivel de dosel fue evidente la aparición recurrente de variables relacionadas con disturbio  
388 antrópico como la cercanía a la carretera transversal, al borde de la selva y al eje de captación de  
389 agua contiguo. Las carreteras representan barreras para el desplazamiento de la fauna y su  
390 impacto está en función de sus dimensiones y la frecuencia y velocidad con que transitan los  
391 vehículos. Entre los principales efectos ecológicos de los caminos y carreteras está la pérdida de  
392 hábitat, alteraciones del hábitat adyacente, cambios en la configuración del paisaje, efectos de  
393 borde hacia ambos lados del camino, penetración de fauna invasora, disturbio visual y acústico,  
394 fragmentación de poblaciones, mortalidad de fauna por atropellamientos, repercusiones en los  
395 patrones reproductivos e incluso en los patrones de forrajeo de las especies (Arroyave et al.,  
396 2006; Perdomo, 2006; Pacheco-Vargas y Losada-Prado, 2015). En consecuencia, la carretera  
397 transversal como una barrera, limita en alguna medida el movimiento de frugívoros y por lo tanto  
398 el movimiento de semillas de las especies leñosas zoócoras. Por otra parte, también se encontró  
399 que la riqueza de especies leñosas y la frecuencia de plantas policaulescentes incidían en los  
400 frugívoros registrados a nivel de dosel. Estas variables también podrían ser indicativas de  
401 disturbio. Una alta frecuencia de plantas policaulescentes puede ser consecuencia de disturbios  
402 como huracanes, que provocan la troza de árboles que posteriormente producen rebrotes;

403 mientras que valores altos de riqueza de especies leñosa podría reflejar una sucesión intermedia  
404 de la vegetación como respuesta a la exposición a algún disturbio.

405 Resultaron importantes para los vertebrados frugívoros registrados en dosel algunas  
406 especies leñosas como *S. foetidissimum*, *P. campechiana*, *G. elliptica*, *G. combsii*, *C.*  
407 *dodecandra*, *F. obtusifolia*, *M. brownei*, *E. diphylla* y *T. chrysantha*. Es importante resaltar que  
408 todas estas especies, con excepción de *T. chrysantha*, poseen frutos carnosos y con características  
409 zoócoras lo que podría sugerir que son importantes para la fauna frugívora como recurso  
410 alimenticio. Las especies leñosas que resultaron ser relevantes para la fauna de sotobosque fueron  
411 muy similares a las encontradas para la fauna de dosel, pero fueron más especies: *S.*  
412 *foetidissimum*, *P. campechiana*, *G. elliptica*, *F. obtusifolia*, *M. brownei*, *E. diphylla*, *T.*  
413 *chrysantha*, morfoespecie 2, *P. piscipula*, *C. diversifolia*, *B. simaruba*, *C. aesculifolia*, *A.*  
414 *gummifera* y *P. obtusa*. Resulta interesante que para las especies registradas en sotobosque no  
415 sólo las especies con frutos zoócoros son variables importantes, sino también se incluyen  
416 especies leñosas con frutos secos y vainas que podrían ser poco atractivos para los frugívoros, tal  
417 es el caso de *T. chrysantha*, *P. piscipula*, *Ceiba aesculifolia*, *Ateleia gummifera* y *Plumeria*  
418 *obtusa*. Esto podría sugerir que la composición y estructura de la vegetación de la selva  
419 representada a escala fina por las especies leñosas registradas en las parcelas de muestreo  
420 también pueden ser variables relevantes que inciden en el ensamble de frugívoros a nivel de  
421 sotobosque.

422 Uno de los resultados consistentes fue la asociación entre la presencia y abundancia  
423 de *C. rubra grisea* y *D. punctata* con las especies leñosas *P. campechiana* y *F. obtusifolia*.  
424 Ambas especies poseen frutos zoócoros con una gran cantidad de pulpa. *Pouteria campechiana*  
425 es una especie de la familia Sapotaceae que posee un fruto tipo drupa con un par de huesos  
426 rodeados por una cantidad significativa de mesocarpio; mientras que *F. obtusifolia* pertenece a

427 la familia Moraceae y también posee un fruto zoócoro por excelencia que es una infrutescencia  
428 tipo sícono que comúnmente es llamado higo (González-Castañeda et al., 2010). Estos resultados  
429 podrían sugerir que tanto *P. campechiana* como *F. obtusifolia* podrían ser recursos importantes  
430 en la dieta de *C. rubra griscomi*, un ave endémica en crítico peligro de extinción (Martínez-  
431 Morales, 1996, 1999; Martínez-Morales et al. 2009) y para *D. punctata*, como se confirmó en el  
432 caso de *D. punctata* a través de observaciones incidentales.

433

### 434 **Conclusiones**

435 Las especies leñosas con frutos zoócoros fueron variables importantes en la presencia  
436 y abundancia de los vertebrados frugívoros; sin embargo, para las especies registradas a nivel de  
437 dosel, las variables relacionadas con disturbio antrópico también fueron relevantes; mientras que  
438 para las especies registradas a nivel de sotobosque lo fueron más las especies leñosas ya fueran  
439 zoócoras o no.

440 Las aves *C. rubra griscomi*, *P. leucocephala*, *M. pygmaeus pygmaeus*, *Myiarchus* sp.,  
441 *V. magister* y *S. zena benedicti* fueron especies que se asociaron con variables como las  
442 distancias a los disturbios antrópicos, la frecuencia de plantas policaulescentes, la diversidad de  
443 especies leñosas (inverso del índice de Simpson) y con especies leñosas específicas como *P.*  
444 *campechiana*, *F. obtusifolia*, *C. dodecandra*, *G. combsii*, *S. foetidissimum*, morfoespecie 2, *T.*  
445 *chrysantha* y *E. pentaphylla*. Las aves resultaron ser más sensibles a los disturbios antrópicos, a  
446 la composición de la comunidad leñosa y a especies leñosas con frutos zoócoros. En cuanto a los  
447 mamíferos, sólo *D. punctata* y los murciélagos presentaron asociaciones con variables  
448 particulares. *Dasyprocta punctata* mostró una importante asociación con las especies leñosas *P.*  
449 *campechiana*, *F. obtusifolia* y *T. chrysantha*; mientras que en los murciélagos fue importante la

450 especie *E. diphylla*. Esto sugiere que la presencia y abundancia de estos mamíferos responde a las  
451 especies leñosas con frutos zoócoros.

452

### 453 **Agradecimientos**

454 Al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de maestría otorgada a Thalia  
455 Gonzalez Ortega Gamboa. A Edilberto Ucán Ek y a Juan Carlos Uh Moo por su apoyo durante el  
456 trabajo de campo y la identificación de las especies arbóreas. A los revisores de este trabajo  
457 quienes proporcionaron comentarios valiosos para enriquecerlo.

458

### 459 **Referencias**

460 Arroyave, M. del P.; Gómez, C.; Gutiérrez, M.E.; Múnera, D.P.; Zapata, P.A.; Vergara, I.C.;  
461 Andrade, L.M. y Ramos, K.C. (2006). Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus  
462 principales medidas de manejo. *Revista EIA*, 5, 45-57.

463 Caziani, S.M. (1996). *Interacción plantas-aves dispersoras de semillas en un bosque chaqueño*  
464 *semiárido*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos  
465 Aires, Buenos Aires, Argentina.

466 Correa-Cortés, M. y Uriarte, M. (2013). Integrating frugivory and animal movement: a review of  
467 the evidence and implications for scaling seed dispersal. *Biological Reviews of the Cambridge*  
468 *Philosophical Society*, 88, 255-272.

469 Cuarón, A.D.; Martínez-Morales, M.A.; Mcfadden, K.W.; Valenzuela-Galván, D. y Gompper,  
470 M.E. (2004). The status of dwarf carnivores on Cozumel Island, Mexico. *Biodiversity and*  
471 *Conservation*, 13, 317-331.

472 Cuarón, A.D.; Valenzuela-Galván, D.; García-Vasco, D.; Copa, M.E.; Bautista, S.; Mena, H.;  
473 Martínez-Godínez, D.; González-Baca, C.; Bojórquez-Tapia, L.A.; Barraza, L.; Grammont, P.C.

474 de; Galindo-Maldonado, F.; Martínez-Morales, M.A.; Vázquez-Domínguez, E.; Andresen, E.;

475 Benítez-Mavidos, J.; Pérez-Salicrup, D.; McFadden, K.W. y Gompper, M.E. (2009).

476 Conservation of the endemic dwarf carnivores of Cozumel Island, Mexico. *Small Carnivore*

477 *Conservation*, 41, 15-21.

478 FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2004).

479 *Inventario Forestal Nacional, manual de campo modelo*. FAO, Guatemala.

480 González-Baca, C.A. (2006). *Ecología de forrajeo de Boa constrictor. Un depredador*

481 *introducido a la isla Cozumel*. Tesis de maestría. Centro de investigaciones en Ecosistemas,

482 Universidad Autónoma de México, México.

483 González-Castañeda, N.; Cornejo-Tenorio, G. e Ibarra-Manríquez, G. (2010). El género *Ficus*

484 (Moraceae) en la provincia biogeográfica de la Depresión del Balsas, México. *Boletín de la*

485 *Sociedad Botánica de México*, 87, 105-124.

486 González-Varo, J.P.; Fedriani, J.M.; López-Bao, J.V.; Guitián, J. y Suárez-Esteban, A. (2015).

487 Frugivoría y dispersión de semillas por mamíferos carnívoros: rasgos funcionales. *Revista*

488 *Ecosistemas*, 24, 43-50.

489 Hernández-Jaramillo, A.; Pinzón, O.P. y Parrado-Rosselli, A. (2012). Depredación de las

490 semillas de *Sapindus saponaria* L. por *Leptostylus gibbulosus* Bates (Coleoptera: Cerambycidae)

491 y su efecto en la germinación. *Colombia Forestal*, 15, 247-260.

492 Hernández-Pérez, E.; Reyna-Hurtado, R.; Castillo, V.G.; Sanvicente, L.M. y Moreira-Ramírez,

493 J.F. (2015). Fototrampeo de mamíferos terrestres de talla mediana y grande asociados a petenes

494 del noroeste de la Península de Yucatán, México. *THERYA*, 6, 559-574.

495 Hernández, P.J.; Serra, M.T. y Faúndez, Y.L. (2000). *Manual de métodos y criterios para la*

496 *evaluación y monitoreo de la flora y la vegetación*. Universidad de Chile, Chile.

497 Hsieh, T.C.; Ma, K.H. y Chao, A. (2016). iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation  
498 of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, 7, 1451-1456.

499 Jordano P. (2000). Fruits and frugivory. En Fenner, M. (ed.), *Seeds: the ecology of regeneration*  
500 *in plant communities* (pp. 125-166). Wallingford, UK: CABI Publ.

501 Lira-Torres, I.; Briones-Salas, M. y Sánchez-Rojas, G. (2014). Abundancia relativa, estructura  
502 poblacional, preferencia de hábitat y patrones de actividad del Tapir Centroamericano *Tapirus*  
503 *bairdii* (Perissodactyla: Tapiridae), en la Selva de Los Chimalapas, Oaxaca, México. *Revista de*  
504 *Biología Tropical*, 62, 1407-1419.

505 Martínez-Morales, M.A. (1996). *The Cozumel curassow: abundance, hábitat preference and*  
506 *conservation*. Tesis de maestría. Departamento de Anatomía, Universidad de Cambridge, United  
507 Kingdom.

508 Martínez-Morales, M.A. (1999). Conservation status and habitat preferences of the Cozumel  
509 Curassow. *The Condor* 101, 14-20.

510 Martínez-Morales, M.A.; Caballero-Cruz, P. y Cuarón, A.D. (2009). Predicted population trends  
511 for Cozumel Curassows (*Crax rubra griseomi*): empirical evidence and predictive models in the  
512 face of climate change. *Journal of Field Ornithology*, 80, 317-327.

513 McConkey, K.R.; Prasad, S.; Corlett, R.T.; Campos-Arceiz, A.; Brodie, J.F.; Rogers, H. y  
514 Santamaria, L. (2012). Seed dispersal in changing landscapes. Review. *Biological Conservation*,  
515 146, 1-13.

516 Medellín, R.; Azuara, D.; Maffei, L.; Zarza, H.; Bárcenas, H.; Cruz, E.; Legaria, R.; Lira, I.;  
517 Ramos Fernández, G. y Ávila, S. (2006). Censos y Monitoreo. En: C., Chávez y G., Ceballos  
518 (eds.), *El Jaguar Mexicano en el Siglo XXI: Situación Actual y Manejo* (pp. 25-35). México.  
519 D.F.: CONABIO-Alianza WWF TELCEL-Universidad Nacional Autónoma de México.



520 Mendoza, D.A. (2005). *Dasyopus novemcinctus* Linnaeus, 1758. Armadillo. En: G., Ceballos y G.,  
521 Oliva (eds.), Los mamíferos silvestres de México (pp. 986). Col. Sección de obras de ciencia y  
522 tecnología. México, D.F: FCE, CONABIO.

523 Mengak, M. T. (2005). Nine-banded armadillo (*Dasyopus novemcinctus*). *University of Georgia*  
524 *Warner School of Forest Resources Publication, Natural History Series, 4:* 1-6.

525 Missouri Botanical Garden. (2019). Tropicos. Recuperado el: 10 de marzo de 2019 de  
526 <http://www.tropicos.org>.

527 Mostacedo, B. y Fredericksen, T.S. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en*  
528 *ecología vegetal*. Santa Cruz, Bolivia: BOLFOR.

529 Orellana, R.; Nava, F. y Espadas, C. (2007). El clima de Cozumel y la Riviera Maya. En: Mejía-  
530 Ortiz (ed.), *Biodiversidad acuática de la Isla de Cozumel*, (pp. 422). México D.F: Universidad de  
531 Quintana Roo-Plaza y Valdés.

532 Pacheco-Vargas, G. y S. Losada-Prado. (2015). Efecto del ruido del tráfico vehicular en cantos de  
533 *Hylophilus flavipes* y *Cyclarhis gujanensis*. *Revista Ciencia en Desarrollo, 6*, 177-183.

534 Patiño, C.P. (2008). *Estructura y composición de árboles y lianas de la selva mediana*  
535 *subcaducifolia de la Isla Cozumel, Quintana Roo*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma  
536 de México. México, D.F.

537 Perea, R. (2012). Dispersión y predación de semillas por la fauna: Implicaciones en la  
538 regeneración forestal de bosques templados. *Revista Ecosistemas, 21*, 224-229.

539 Peres, C.A.; Emilio, T.; Schiatti, J.; Desmoulière, S.J.M. y Levi, T. (2016). Dispersal limitation  
540 induces long-term biomass collapse in overhunted Amazonian forests. *Proceedings of the*  
541 *National Academy of Sciences of the United States of America, 113*, 892-897.

542 Perdomo, V.E. (2006). *Caminos como barreras para el movimiento de aves y efecto del huracán*  
543 *Wilma en una comunidad de aves de sotobosque de la selva mediana subcaducifolia de la isla*

544 *Cozumel*. Tesis de maestría. Centro de Estudios en Ecosistemas, Universidad Autónoma de  
545 México. Morelia, Michoacán, México.

546 Ratiarison, S. y Forget, P. (2011). Fruit availability, frugivore satiation and seed removal in two  
547 primate-dispersed tree species. *Integrative Zoology*, 6, 178-194.

548 Rey, P.J. (1995). Spatio-temporal variation in fruit and frugivorous bird abundance in olives  
549 orchards. *Ecology*, 76, 1625-1635.

550 Romero-Nájera, I. (2004). *Distribución, abundancia y uso de hábitat de Boa constrictor*  
551 *introducida a la isla Cozumel*. Tesis de maestría. Centro de Estudios en Ecosistemas,  
552 Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

553 Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. México, D.F: Comisión Nacional para el  
554 Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

555 Sekercioglu, H.C. (2006). Increasing awareness of avian ecological function. *Trends in Ecology*  
556 *and Evolution*, 21, 464-471.

557 Soler, E.P.; Berroterán, J.L.; Gil, J.L. y Acosta, R.A. (2012). Índice de valor de importancia,  
558 diversidad y similaridad florística de especies leñosas en tres ecosistemas de los llanos centrales  
559 de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 62, 25-37.

560 Staller, E.I.; Palmer, W.E.; Carroll, J.P.; Thornton, R.P. y Sisson, D.C. (2005). Identifying  
561 predators at Northern Bobwhite nests. *Journal of Wildlife Management*, 69, 1626-1630.

562 The Plant List. (2013). Versión 1.1. Recuperado el: 1 de enero de 2018 de:  
563 <http://www.theplantlist.org/>.

564 Téllez, V.O. y Cabrera, C.E.F. (1987). *Listados florísticos de México. Flórula de la Isla de*  
565 *Cozumel, Q. R.* México D.F: Universidad Nacional Autónoma de México.

566 Trollet, F.; Forget, P.; Doucet, J.; Gillet, J. y Hambuckers, A. (2017). Frugivorous birds  
567 influence the spatial organization of tropical forests through the generation of seedling  
568 recruitment foci under zoochoric trees. *Acta Oecologica*, 85, 69-76.

569 Vélez, T.A. (2010). *Diagnóstico de árboles urbanos y propuesta de plan de manejo en el*  
570 *municipio de León, Guanajuato*. Tesis de licenciatura. Departamento de enseñanza, investigación  
571 y servicio en suelo, Universidad Autónoma de Chapingo. México, D.F.

572 Vester, H. F. M. (2002). Modelos arquitectónicos en la flora arbórea de la Península de Yucatán.  
573 *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 71, 45-57.

574 Zarco-Espinosa, V.M.; Valdez-Hernández, J.I.; Ángeles-Pérez, G. y Castillo-Acosta, O. (2010).  
575 Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana,  
576 Tabasco. *Universidad y Ciencia*, 26, 1-17.

San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. 25 de junio de 2019

ASUNTO: Carta de presentación

**Revista Mexicana de Biodiversidad:**

Hago uso de este medio para presentarme. Mi nombre es Thalia Gonzalez Ortega Gamboa, egresada de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional donde concluí la licenciatura de biología. Actualmente estoy concluyendo la Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural en el departamento de Conservación de Biodiversidad. Mis más grandes intereses profesionales son el estudio de la ecología como medio para lograr la conservación de la diversidad biológica y la taxonomía de plantas principalmente en sistemas tropicales e/o insulares.

Tengo experiencia trabajando con aves y plantas principalmente, en menor medida con mamíferos. En los últimos cinco años he estado trabajando en proyectos relacionados con la avifauna, mamíferos y flora de la península de Yucatán, además de trabajos de investigación de iniciativa propia y otros en colaboración con una asociación civil de isla Cozumel.

Por otro lado, me dirijo a ustedes porque tengo gran interés en publicar mi trabajo de investigación realizado durante mi maestría en su prestigiosa revista: Revista Mexicana de Biodiversidad. Mi trabajo de investigación plantea el estudio del ensamblaje conformado por las especies de vertebrados frugívoros que consumen los frutos de las especies arbóreas *Manilkara zapota*, *Sideroxylon foetidissimum*, *Vitex gaumeri* y *Metopium brownei* en el sistema insular de Cozumel, Quintana Roo y analiza algunas variables de disturbio antrópico que podrían estar incidiendo en la abundancia de la fauna frugívora. Estas especies arbóreas son dominantes en la selva mediana subcaducifolia de Cozumel y son de gran importancia ecológica como recurso alimenticio de muchas especies de fauna que habitan la isla. Cabe mencionar que Cozumel es un sitio con alto grado de endemismos y muchas de las especies que fue posible registrar durante este estudio corresponden a especies endémicas de la isla, entre ellas los mamíferos *Nasua nelsoni*, *Pecari tajacu nanus*, *Didelphis marsupialis cozumelae* y; las aves *Melanoptila glabrirostris*, *Spindalis zena benedicti*, *Crax rubra griscomi* y *Melanerpes pygmaeus pygmaeus*. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos que se hacen por su conservación, la presión antrópica sobre este sistema es mucha ejercida principalmente por el cambio de uso de suelo, la invasión de especies exóticas y la fragmentación del hábitat. De esta manera, resulta relevante el estudio de estos procesos ecológicos, como lo es el de frugivoría, en sistemas únicos y frágiles como es el caso de las islas con una diversidad biológica muy particular. Pues son muchas las implicaciones que tienen estos procesos para la conservación de la diversidad biológica de la flora y la fauna, cuyos patrones ocurren generalmente en paisajes antropizados.

En lo que respecta a la pertinencia de esta investigación para su publicación en su revista, puedo mencionar que debido a que la Revista Mexicana de Biodiversidad promueve la publicación de manuscritos originales sobre el conocimiento de la biodiversidad, su conservación, manejo y aprovechamiento; la temática de esta investigación es muy pertinente pues contribuye al conocimiento y conservación de especies endémicas de México, así como de algunos aspectos de

su función y dinámica ecológica en el proceso de frugivoría dentro de un contexto de disturbio antropogénico.

Finalmente, quisiera mencionar mi propuesta para la asignación de revisores del manuscrito.

Dr. Guillermo Ibarra-Manríquez

Institución de adscripción: Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (iies)

Correo electrónico: gibarra@cieco.unam.mx

Dra. María Azucena Canto Aguilar

Institución de adscripción: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

Correo electrónico: azucanto@cicy.mx

Sin más por el momento, agradezco su tiempo y atención. Quedo al pendiente de su respuesta.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Gonzalez Ortega Gamboa'. The signature is stylized and includes a large circular flourish.

Biól. Thalia Gonzalez Ortega Gamboa