



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Instituto de Biología

“CONTRIBUCIÓN DE LAS FUENTES TERRESTRES Y
MARINAS EN LA DIETA DEL MURCIÉLAGO
PESCADOR (*Myotis vivesi*) EN EL MAR DE CORTÉS,
MÉXICO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)

P R E S E N T A

AÍDA OTÁLORA ARDILA

DIRECTOR DE TESIS: DR. L. GERARDO HERRERA MONTALVO

MÉXICO D.F.

ENERO, 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado de Ciencias Biológicas, UNAM.

A los apoyos recibidos de PAPIIT (IN201108) en el marco del proyecto “Mecanismos de coexistencia entre dos especies insulares: el murciélago pescador y el petrel” y del proyecto “Comparación de la biodiversidad, ecogeografía y usos potenciales de líquenes costrosos de bosques tropicales secos y húmedos de México ” (IN225808).

A mi asesor principal Dr. Luis Gerardo Herrera Montalvo y los miembros del comité tutorial: Dra. Kathryn E. Stoner y Dr. Jorge Vega, quienes me brindaron su apoyo y colaboración durante el desarrollo de mi maestría. A los miembros del jurado: Dr. Luis Zambrano y Dr. Joaquín Arroyo quienes me dieron valiosas sugerencias y comentarios.

A la Secretaría de Marina-Armada de México por el apoyo brindado en el desplazamiento a Isla Partida Norte.

Al equipo de trabajo de la estación Biológica del Prescott College en Bahía Kino quienes proporcionaron apoyo logístico durante el trabajo de campo.

Al Dr. Fernando Álvarez Noguera por permitirme hacer uso del equipo de laboratorio de Crustáceos y al Dr. José Luis Villalobos por su colaboración en la determinación de especímenes de crustáceos. A Martín Zurita por su ayuda en la determinación de insectos y

al M.Sc. Héctor Espinosa por su apoyo en la determinación de peces y por el préstamo de equipo para colecta de peces. Al Dr. Luis Zambrano por el préstamo de equipo de colecta de peces. A la Dra. Maria Busch por permitirme hacer uso del equipo de laboratorio del Departamento de Ecología, Genética y Evolución de la Universidad de Buenos Aires, Argentina.

A la Unidad de Informática para la Biodiversidad por permitirme usar el equipo para la toma de fotografías. Al Dr. Carlos Assis por su gran ayuda en la determinación de los otolitos encontrados en las excretas del murciélago pescador.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, quienes me dieron todo: su apoyo incondicional, moral y económico para realizar mi maestría en la UNAM.

A mis buenas amigas Carito, Margarita y Marylin quienes me acompañaron en los buenos y malos momentos. A mis amigos colombianos quienes fueron como una familia durante todo este tiempo: Claudia Rodríguez, Caro Castellanos, Claudia y Oscar.

A Héctor por todo su amor, buena compañía y apoyo en todo lo que me encontré en México....

Al Dr. Luis Gerardo Herrera Montalvo y a la Dra. María de los Ángeles Herrera Campos por toda su ayuda y comprensión en momentos difíciles.

A mis amigas de la Selección Natural y de las Kynkis por invitarme a jugar y compartir conmigo valiosos momentos dedicados al placer de jugar fútbol.

A José Juan Flores Martínez, Fermín Sanabria, Sandra Ospina, Gilberto García, Héctor Bustos, Stephanie Ortega, Valeria Salinas y Enrico, por su invaluable ayuda y buena energy en las **pesadas** salidas de campo.

DEDICATORIA

A mi familia: Laureano, María Helena, Nayibe, Yesid e Isabella,
quienes siempre estuvieron cerca a pesar de la distancia y me lo han dado TODO.

Al viejis...

ÍNDICE

RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
<i>Aplicación de los análisis de isótopos estables en investigaciones sobre dieta.....</i>	<i>7</i>
<i>Determinación de las fuentes alimenticias a partir de los isótopos de carbono (C).....</i>	<i>9</i>
<i>Determinación de los niveles tróficos y origen de las fuentes alimenticias a partir de los isótopos de nitrógeno (N).....</i>	<i>10</i>
OBJETIVO GENERAL.....	12
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	12
HIPÓTESIS.....	12
MÉTODOS.....	13
Área de estudio.....	13
Análisis de excretas.....	16
Análisis de isótopos estables.....	16
Análisis de datos.....	20
Análisis de excretas.....	20
Análisis de isótopos estables.....	22
RESULTADOS.....	25
Análisis de excretas.....	25
Análisis de isótopos estables.....	33
DISCUSIÓN.....	43
CONCLUSIONES.....	55
LITERATURA CITADA.....	56
ANEXO 1. Listado y número de individuos de peces, crustáceos e insectos colectados en isla Partida Norte durante las salidas de campo	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Isla Partida Norte ubicada en Isla Partida Norte ubicada en la zona de Grandes Islas en el centro del Golfo de California, México.....	14
Figura 2. Temperatura superficial del mar (°C) y concentración de clorofila (mg/m ³) observada durante el año de muestreo (junio 2008 - mayo 2009) en isla Partida Norte (Baja California, México).....	15
Figura 3. Frecuencia de ocurrencia (expresada en porcentaje) de los ítems alimenticios encontrados en el total de muestras de las excretas de <i>M. vivesi</i> en Isla Partida Norte (Baja California, México).....	28
Figura 4. Área ocupada (expresada en porcentaje) por cada ítem alimenticio en las excretas de <i>M. vivesi</i> en isla Partida Norte (Baja California, México)	30
Figura 5. Éxito de muestreo [(número de individuos colectados/esfuerzo de muestreo) x 100] de misidáceos, coleópteros y peces colectados en los meses de muestreo en isla Partida Norte (Baja California, México).....	34
Figura 6. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de a) la sangre del murciélago pescador, b) de las fuentes marinas y c) de las fuentes terrestres durante los meses de junio (jun), septiembre (sep), octubre (oct) y diciembre (dic) de 2008, y de enero de 2001 en isla Partida Norte (Baja California, México).	40
Figura 7. Composición de isótopos estables de C y N del murciélago pescador (morado) y de las fuentes de alimento marinas (azul) y terrestres (verde) en los meses analizados en isla Partida Norte (Baja California, México).....	41

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Esfuerzos realizados en cada método de muestreo durante cada mes muestreado y total para capturar peces, insectos y pequeños crustáceos.....	18
Tabla 2. Área ocupada (expresada en porcentaje) por cada ítem alimentario en las excretas de <i>M. vivesi</i> en isla Partida Norte (Baja California, México).....	31
Tabla 3. Valores de p para la comparación del porcentaje de área ocupada por crustáceos (arriba diagonal) y peces (abajo diagonal) entre los meses muestreados en isla Partida Norte (Baja California, México).....	33
Tabla 4. Valores isotópicos del $\delta^{13}\text{C}$ (‰) y del $\delta^{15}\text{N}$ (‰) (media \pm D.E.) de la sangre de <i>M. vivesi</i> y de las posibles fuentes de alimento marino y terrestre durante los meses muestreados en isla Partida Norte (Baja California, México).....	36
Tabla 5. Contribución de las fuentes terrestres y marinas al nitrógeno asimilado a partir de las muestras de sangre de <i>M. vivesi</i> (medias \pm D.E)	42
Tabla 6. Valores de p para la proporción de N asimilado por el murciélago pescador a partir de las fuentes terrestres (arriba diagonal) y marinas (abajo diagonal) entre los pares de meses comparados.....	43

ANEXOS

ANEXO 1. Listado y número de individuos de peces, crustáceos e insectos colectados en isla Partida Norte durante las salidas de campo.....	70
--	----

RESUMEN

El murciélago pescador *Myotis vivesi* (Vespertilionidae) es una especie endémica de las costas de Sonora y algunas islas del golfo de Baja California. Investigaciones previas realizadas en 1960 han descrito su dieta de manera preliminar y durante un breve periodo de tiempo, sugiriendo que está compuesta principalmente de pequeños crustáceos y peces marinos. Esta información previa se basa en la presencia de los restos de alimento encontrados en las excretas pero no incluye información sobre la importancia nutricional de los alimentos que consume. En este trabajo se determinó el aporte de los alimentos de origen marino y terrestre como fuente de nutrientes para el murciélago pescador en Isla Partida Norte (Baja California, México) a lo largo de un ciclo anual. Se emplearon análisis de isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) de la sangre del murciélago pescador junto con la determinación de restos alimentarios en excretas a partir de datos obtenidos de seis meses de muestreo: (junio, septiembre, octubre y diciembre de 2008 y enero y marzo de 2001). Se encontraron restos de peces, crustáceos e insectos en las excretas y el análisis isotópico reveló que el murciélago se alimenta principalmente de organismos marinos. Los peces fueron el tipo de alimento más frecuente en la excretas y con mayor porcentaje de área ocupada durante junio, septiembre y octubre. Los crustáceos fueron el alimento más frecuente durante diciembre, enero y marzo. Los insectos fueron el alimento menos frecuente y sólo aparecieron en los meses de junio, diciembre, enero y marzo. La contribución de las fuentes de alimento al nitrógeno asimilado por el murciélago fue diferente entre los meses analizados. El nitrógeno asimilado por el murciélago pescador provino principalmente de las fuentes marinas, mientras que únicamente en septiembre y

octubre una pequeña proporción del nitrógeno asimilado provino de las fuentes terrestres. Los cambios en los tipos de presas consumidas a lo largo del año pueden estar relacionados con las variaciones climáticas observadas en la zona de Grandes Islas. Esta variación en los tipos de presas consumidos por el murciélago pescador a lo largo del año también se reflejó en la variación de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en los meses muestreados. Debido a que el nitrógeno asimilado por el murciélago pescador provino principalmente de las fuentes marinas, esta especie puede actuar como transportador de nutrientes entre el ambiente marino y el ambiente terrestre.

ABSTRACT

The fishing bat (*Myotis vivesi*) is an endemic species restricted to the coast of Sonora and some islands of the gulf of Baja California. Previous research carried out in 1960 suggests that this bat feeds on marine crustaceans and fish; however, this information is anecdotal and covers only a small part of the year. Additionally, previous dietary information is based on examination of undigested food remains in feces, thus providing no information about the nutritional significance of food ingested by bats. In this study I determined the input of marine and terrestrial nutrient sources to the diet of the fishing bat in Partida Norte island (Baja California, Mexico) during an annual cycle. Stable isotope analysis of C ($\delta^{13}\text{C}$) and N ($\delta^{15}\text{N}$) in whole blood of bats and feces examination were carried out during six months: June, September, October and December 2008 and January and March 2001. Fish, crustacean and insect remains were found in feces, and according with isotopic signatures bats derived most assimilated nutrients from marine organisms. Fish was the food item

most frequently found with the largest percent of area occupied during June, September and October. Crustaceans were the most important food item found during December, January and March. Insects were the least frequent food type found and were registered only in June, December, January and March. Contribution of food source to assimilated nitrogen by the fishing bat was different among months. Assimilated nitrogen was derived almost exclusively from marine organisms throughout the year, with a small contribution of terrestrial sources in September and October. Dietary changes during the year might be related to seasonal climate variation in midriff islands. The fishing bat derived most dietary nitrogen assimilated from marine food sources, thus functioning as a nutrient transporter between marine and terrestrial environments.

INTRODUCCIÓN

La península de Baja California y la zona del mar de Cortés presentan alta heterogeneidad ambiental, pudiéndose observar una gran variedad de climas y tipos de vegetación. Así mismo, se observa un alto endemismo de especies pues cerca del 30% de las especies de plantas, 19% de los reptiles y 22% de los mamíferos registrados en la península y el golfo de California sólo se encuentran en esta región (Ezcurra 2003). Uno de los mamíferos endémicos de esta región es el murciélago pescador *Myotis vivesi* (Vespertilionidae), distribuido en las zonas costeras de Sonora y algunas islas e islotes del golfo de Baja California (Blood y Clark 1994, Stadelmann et al 2004). Este murciélago es una de las especies de mayor tamaño del género *Myotis* y tiene las patas y garras relativamente

grandes con relación a su tamaño corporal (Stadelmann et al. 2004). Estas características morfológicas están asociadas a su dieta compuesta principalmente de pequeños crustáceos y peces marinos (Maya 1968). También tiene hábitos de refugio poco comunes, ya que durante el día se resguardan en oquedades debajo de las rocas en zonas de canto rodado (Maya 1968, Blood y Clark 1998, Herrera y Flores-Martínez 2001). A nivel global, esta especie ha sido considerada como vulnerable dentro de las categorías de amenaza de la UICN, porque se presume que sus niveles poblacionales han disminuido (Hutson et al. 2001, UICN 2003) y en México es considerada como una especie en peligro de extinción (NOM-ECOL-059-2001).

Aunque se han documentado varios aspectos sobre la historia natural de esta especie (Burt 1932, Reeder y Norris 1954, Maya 1968), los estudios de dieta no han sido realizados a lo largo de un ciclo anual para determinar si hay variaciones temporales. De esta manera, conocer la dinámica de la dieta del murciélago pescador durante un ciclo anual es importante para entender la forma en que esta especie cubre sus requerimientos alimenticios en un ambiente que presenta fluctuaciones estacionales en la abundancia de los recursos alimentarios. Por ejemplo, la colonia más grande que se conoce de murciélago pescador se encuentra en la isla Partida Norte, en la parte norte del golfo de California conocida como la zona de Grandes Islas (CONANP s.f.), y en esta zona la biodiversidad marina está influenciada por las fluctuaciones estacionales de la temperatura superficial del mar, pasando de temperaturas de 6 a 16 °C en el invierno a temperaturas registradas de hasta 31 °C durante el verano (CONANP s.f, Álvarez-Borrego 2002). Estas modificaciones en la temperatura ocasionan que varias especies marinas de invertebrados, de algas y

algunas de vertebrados tropicales desaparezcan o emigren durante el invierno y que algunas especies templadas desaparezcan durante el verano (Brusca y Findley 2005). Otro de los factores que influye en los cambios estacionales en la abundancia de recursos alimenticios del murciélago pescador, es el cambio en los nutrientes del mar asociado a la mezcla ocurrida por las mareas estacionales, conllevando a que la productividad primaria sea mayor durante el invierno que durante el verano (Douglas et al. 2007, CONANP s.f.).

Esta especie de murciélago además de consumir peces y pequeños crustáceos marinos también puede alimentarse de insectos que habitan la isla (Maya 1968). De esta manera, los nutrientes provienen de dos ambientes diferentes: marino y terrestre. Sin embargo, no existe información sobre la contribución relativa de cada uno de estos ambientes en la dieta del murciélago, y tampoco se conoce si hay variación en el uso de las presas de origen marinos a terrestre o viceversa, lo cual puede conllevar a modificaciones en las dinámicas del flujo de nutrientes entre ambientes marinos y terrestres. Determinar el origen de la dieta del murciélago pescador puede también brindar información sobre las dinámicas de las redes tróficas en esta isla. Estudios realizados en varias islas del golfo han encontrado que uno de los medios por los cuales pueden entrar los nutrientes de origen marino a las islas, es a través de los animales que se alimentan en las zonas marinas pero que viven, se refugian y/o anidan en ambientes terrestres (Polis et al. 2002). Por ejemplo, en las islas con presencia de aves, el suelo fertilizado por el guano presentó siete veces más nitrógeno y cuatro veces más fósforo que el suelo de islas sin aves (Anderson & Polis 1999). Estas investigaciones se han enfocado en la entrada de material alóctono, evaluando el papel de las aves como medio de transporte de nutrientes. Es posible que el murciélago pescador

actúe como un conductor de materia y energía entre un ambiente más productivo como la zona marina y un ambiente relativamente más pobre, como la zona terrestre. Esto es de particular importancia en el sistema de islas del golfo de Baja California, puesto que estas islas tienen una baja productividad primaria que contrasta con la alta productividad (Polis y Hurd 1996). La entrada de material alóctono vía especies conductoras puede mantener la red trófica terrestre y a los organismos que la conforman por medio de los subsidios que generan estas entradas de energía (Sánchez-Piñero y Polis 2000, Stapp y Polis 2003).

Aplicación de los análisis de isótopos estables en investigaciones sobre dieta

Los isótopos son formas de un mismo elemento que difieren en el número de neutrones en el núcleo, por lo tanto aún siendo del mismo elemento químico, varían en el peso atómico (Santiago et al. 2005). Las variaciones en el número de neutrones generalmente conllevan a sutiles diferencias químicas (Fry 2006). Los elementos pueden presentar dos tipos de isótopos: 1. Estables, los cuales no decaen con el tiempo y que no son reactivos, 2. Inestables que decaen o cambian a otros elementos (Fry 2006). Las estimaciones de las proporciones de los isótopos estables se hacen mediante la comparación de una muestra con un estándar empleando un espectrómetro de masas, a partir del cual se obtiene un valor conocido como delta (δ) expresado en partes por mil (‰) (Fry 2006, Reyes y Andrade 2007). Este δ es conocido como firma isotópica o valor isotópico de una sustancia o muestra (Reyes y Andrade 2007). Las variaciones de este δ pueden indicar que una muestra o sustancia es enriquecida o empobrecida con respecto al estándar cuando los valores de δ son positivos o negativos, respectivamente (Fry 2006).

Las variaciones en las abundancias naturales de los isótopos estables han sido empleadas exitosamente para reconstruir dietas (Major et al. 2007, Wolf y Martínez del Río 2000, Voigt y Kelm 2006, Ben-David et al. 2004, Hobson et al. 1994, Lajtha y Michener 1994, Miron et al. 2006) y para determinar la fuente alimenticia empleada para el crecimiento de los tejidos (Paetzold et al. 2005). Adicionalmente, funcionan como marcas naturales de las cadenas tróficas y proveen de un medio de monitoreo de las preferencias de hábito y de

forrajeo de animales (Clementz y Koch 2001). El análisis de isótopos estables también permite estimar flujos de nutrientes y materia entre ambientes contrastantes en la señal isotópica como entre sistemas dulceacuícolas y terrestres (Paetzold et al. 2005), o entre ambientes marinos y terrestres (Anderson y Polis 1999). El análisis de isótopos estables es por tanto una técnica complementaria a los métodos tradicionales empleados en los estudios de dieta debido a que brinda información sobre el origen de los nutrientes asimilados por un organismo, mientras que estudios clásicos como los análisis de excretas brindan información sobre la identidad taxonómica y la frecuencia de consumo de los alimentos ingeridos.

Otra de las ventajas del uso del análisis de isótopos estables es que la información generada sobre la dieta puede provenir de diferentes ventanas de tiempo, dependiendo del tejido que se analice (Crawford et al. 2008). Por ejemplo, tejidos metabólicamente activos como la sangre, incluyendo eritrocitos y plasma, reflejan la composición isotópica de la proteína asimilada de la dieta consumida alrededor de dos semanas previas a la toma de la muestra en aves de pequeño tamaño (Podlesak y McWilliams 2006, Hobson y Bairlein 2003). En contraste, otros tejidos como los músculos y el cerebro tienen tasas de recambio intermedias, por lo cual brindan información de la dieta alrededor de un mes, mientras que tejidos como el pelo brindan información dietaria a un mayor plazo (Tieszen et al. 1983).

En particular, los análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno en tejido sanguíneo han sido previamente usados para reconstruir patrones alimentarios a mediano plazo en aves y murciélagos (Herrera et al. 2001a, 2002). La vida media del carbono y nitrógeno en

la sangre de murciélagos nectarívoros es alrededor de 25.5 días por lo cual estos análisis ofrecen información de la dieta consumida en un periodo cercano a siete semanas (Miron et al. 2006). Por tanto, el análisis de isótopos estables en sangre es una herramienta adecuada para describir cambios estacionales en la dieta de los murciélagos.

Determinación de las fuentes alimenticias a partir de los isótopos de carbono (C)

La variación en la proporción del ^{13}C con respecto a la del ^{12}C ($\delta^{13}\text{C}$) en el tejido de un organismo es usada para inferir el origen fotosintético de las fuentes alimenticias (Koch et al. 1994). Esto es posible debido a que el $\delta^{13}\text{C}$ del tejido del consumidor refleja las diferencias en el $\delta^{13}\text{C}$ de los productores primarios presentes en la base de la cadena trófica (Clementz y Koch 2001). Las plantas tienen diferentes procesos de fotosíntesis, lo que conlleva a que el $\delta^{13}\text{C}$ sea diferente de acuerdo a la ruta metabólica (Lajtha y Michener 1994, Gannes et al. 1997). De esta manera, las plantas C_3 tienen un valor promedio del $\delta^{13}\text{C}$ cercano al -27‰, para las plantas C_4 el promedio es de -14‰ y el de las plantas CAM es de -11‰ (Lajtha y Michener 1994). Estas diferencias en $\delta^{13}\text{C}$ permiten identificar el origen de la dieta de animales que se alimentan de plantas con distintos procesos fotosintéticos debido a que la señal isotópica del animal es reflejo de su dieta (Michener y Schell 1994, Gannes et al. 1997).

También existen diferencias isotópicas del $\delta^{13}\text{C}$ entre ambientes terrestres y marinos (Michener y Schell 1994, Gannes et al. 1997). Las cadenas tróficas marinas tienden a ser más enriquecidas en ^{13}C que las de ambientes terrestres o dulceacuícolas (Hobson 1999);

por ejemplo, el fitoplancton marino tiene un promedio de $\delta^{13}\text{C}$ cercano a -22‰ (Michener y Schell 1994). El fraccionamiento del carbono realizado por el fitoplancton marino es mayor que el de las plantas C_3 en aproximadamente 7‰ (Chisholm et al. 1982). Estas diferencias se reflejan en los consumidores asociados a cadenas tróficas marinas, en donde animales que se alimentan estrictamente de organismos marinos generalmente presentan valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -12‰ a -13‰ mientras que consumidores estrictos de organismos terrestres presentan valores de -20‰ a -22‰ (Anderson y Polis 1998). Los organismos que incluyen alimentos tanto de origen terrestre como marino pueden presentar valores intermedios (Schoeninger y DeNiro 1984).

Determinación de los niveles tróficos y origen de las fuentes alimenticias a partir de los isótopos de nitrógeno (N)

La diferencia en la proporción del isótopo de N más pesado (^{15}N) y el más ligero (^{14}N) de los organismos ha sido empleada para determinar el nivel trófico al que pertenecen (Layman et al. 2007, Major et al. 2007, Michener y Schell 1994). Estas consideraciones se basan en el hecho que el valor de $\delta^{15}\text{N}$ aumenta 3‰ en promedio a medida que se asciende en los distintos niveles tróficos (DeNiro y Epstein 1981, Schoeninger y DeNiro 1984).

El $\delta^{15}\text{N}$ también ha sido empleado para determinar si la proteína en la dieta de un animal es derivada de fuentes marinas o terrestres (Major et al. 2007). Esto es posible puesto que los ambientes marinos pueden diferenciarse de los terrestres debido a que los organismos marinos tienen $\delta^{15}\text{N}$ más positivos y las cadenas tróficas marinas tienen más niveles

tróficos (Schoeninger y DeNiro 1984). Así mismo, los isótopos de nitrógeno permiten establecer las fuentes de las cuales ingresa este elemento a un sistema, debido a que las señales isotópicas del nitrógeno pueden ser identificadas desde la asimilación y transformación de nutrientes realizada por los organismos autótrofos hasta su posterior movimiento a través de la cadena trófica (Smit 2001).

Los isótopos de nitrógeno también han sido utilizados como marcadores para establecer el flujo de nutrientes entre distintos ambientes naturales (Stewart 2001). Diferentes investigaciones desarrolladas en islas demuestran la utilidad de rastrear los isótopos de nitrógeno como herramienta para describir el flujo de nitrógeno en estos sistemas (Stapp et al. 2000). Estos estudios han determinado que el suelo y algunas plantas cercanas a las colonias de aves marinas son enriquecidos en los valores de $\delta^{15}\text{N}$, debido a que los nutrientes ornitogénicos presentan altos valores de $\delta^{15}\text{N}$ por el enriquecimiento que ocurre en el nitrógeno terrestre debido a la volatilización del amonio de las excretas de aves (Erskine et al. 1998, Anderson y Polis 1998, 1999, García-Fernández 2005).

OBJETIVO GENERAL

Determinar los aportes de las fuentes de alimento de origen terrestre y marino en la dieta del murciélago pescador *Myotis vivesi* en Isla Partida Norte (Baja California, México) durante un ciclo anual.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer qué ambiente tiene más incidencia en la dieta del murciélago pescador *Myotis vivesi* en Isla Partida Norte (Baja California, México).
- Identificar si el aporte del ambiente terrestre y marino en la dieta del murciélago pescador cambia a lo largo del año.

Con base en estos objetivos, en este trabajo se probó la hipótesis de que la dieta del murciélago pescador es diferente a lo largo del año, siendo principalmente marina en la época de invierno, mientras que en el verano los organismos de origen terrestre serán la dieta principal. Esto se debe a que las surgencias y bajas temperaturas conllevan a que la productividad primaria marina sea mayor durante el invierno que en el verano (Gaxiola-Castro et al. 1995, Santamaría del Angel et al.1999, Alvarez-Borrego 2002, Douglas et al. 2007), por lo cual los murciélagos podrían encontrar más alimento en las zonas marinas que en las terrestres en el invierno, y podrían alimentarse de organismos terrestres (insectos) en el verano. Se espera que durante el invierno los organismos marinos sean los más

frecuentes en la dieta del murciélago pescador y alcancen el 60% o más de los organismos encontrados en las excretas. En cuanto a los valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, se espera que los $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ determinados en los murciélagos sean similares a los de los organismos marinos (crustáceos y peces) y que la proporción del nitrógeno asimilado a partir de las fuentes marinas alcance por lo menos el 60%. Durante el verano, se espera que los organismos terrestres tengan la mayor frecuencia en la dieta del murciélago y cubran el mayor porcentaje (60% o más) en las excretas. Así mismo, se espera que los valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ sean similares a los de los organismos terrestres (insectos) y que la proporción del nitrógeno asimilado a partir de las fuentes terrestres alcance por lo menos el 60%.

MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se realizó en Isla Partida Norte en el Mar de Cortés, la cual está ubicada en el centro del golfo de California conocido como la zona de Grandes Islas (CONANP s.f.).

Esta isla es de origen volcánico y alcanza una extensión aproximada de 1.4 km² (Carreño y Helenes 2002) (Fig. 1).

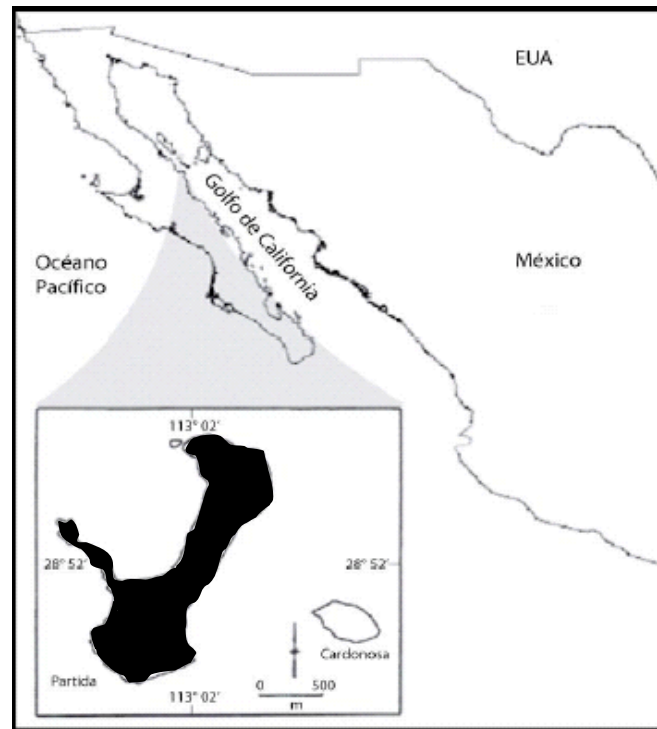


Figura 1. Isla Partida Norte ubicada en la zona de Grandes Islas en el centro del Golfo de California, México.

La mayoría de las islas del golfo presentan una temperatura anual promedio de 22° C y una precipitación anual de 100 mm aproximadamente. La parte norte del golfo presenta un clima de tipo mediterráneo con una alta preponderancia de lluvias y bajas temperaturas durante el invierno (12-18 °C), mientras que la temperatura durante el verano oscila entre 28 y 32 °C (Álvarez-Borrego 2002, Cody et al. 2002). Así mismo, en la zona de Grandes Islas la temperatura superficial del mar presenta fluctuaciones drásticas a lo largo del año y está acompañada de variación en la concentración de clorofila (mg/m^3) (Fig. 2). Esta variación estacional en la concentración de clorofila es debida a la acción de los principales vientos ocurridos en el golfo de California, a partir de la cual se pueden establecer cuatro estaciones: invierno (diciembre a febrero), primavera (marzo a mayo), verano (junio a septiembre) y otoño (octubre y noviembre) (Douglas et al. 2007).

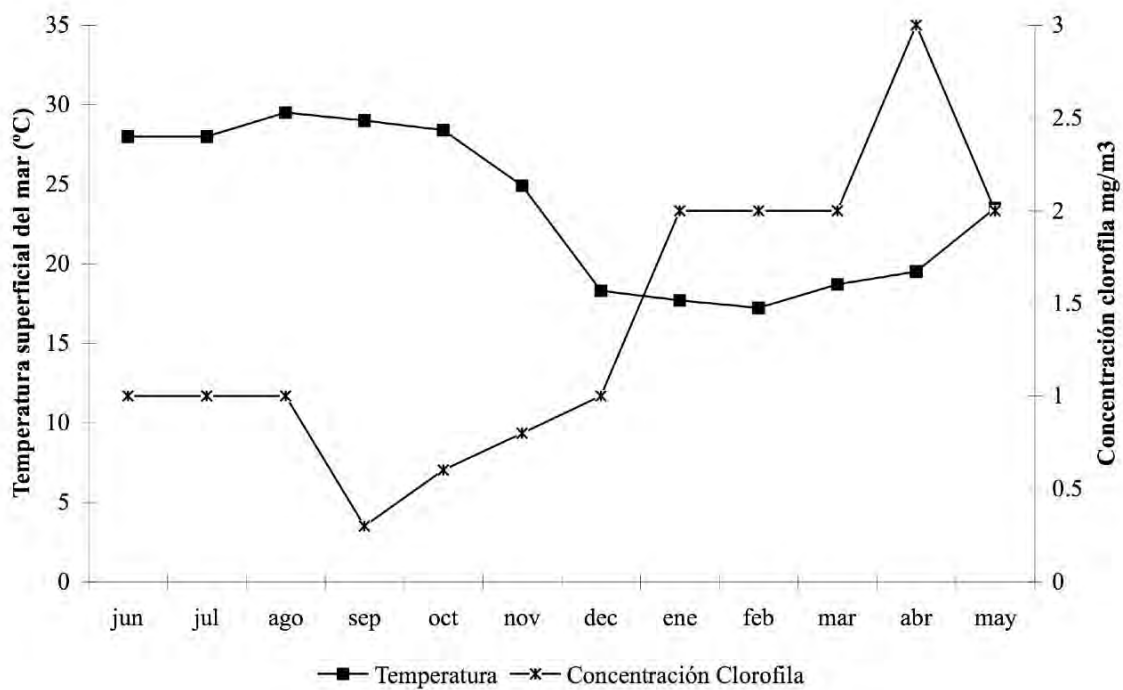


Figura 2. Temperatura superficial del mar (°C) y concentración de clorofila (mg/m³) observada durante el año de muestreo (junio 2008 - mayo 2009) en isla Partida Norte (Baja California, México). Datos tomados de www.nsof.class.noaa.gov y www.oceancolor.gsfc.nasa.gov

El estudio se llevó a cabo entre junio de 2008 a mayo de 2009 y se realizaron siete salidas de campo en los meses de junio, y septiembre (verano), octubre (otoño), diciembre y, febrero (invierno), y abril y mayo (primavera). Para los análisis de excretas y de análisis estables se incluyó información previamente colectada en los meses de enero (invierno) y marzo (primavera) del 2001.

Análisis de excretas

Estos análisis permitieron identificar los organismos que hicieron parte de la dieta de los murciélagos a corto plazo a partir de la observación de los fragmentos de alimento que se encontraron. Con este fin, se capturaron murciélagos en los refugios al amanecer y fueron colocados en una bolsa de tela durante 30 minutos y se colectaron los restos de excretas. Estos restos fueron almacenados en viales con etanol al 90% y posteriormente fueron revisados en el laboratorio en un microscopio estereoscopio. Se hizo una agrupación de los restos de acuerdo a su tamaño y características diagnósticas (Whitaker 1988) para luego ser identificados hasta el nivel taxonómico más detallado posible.

Análisis de isótopos estables

Para estos análisis, se colectaron muestras de 100 microlitros de sangre de 20 o 30 individuos durante cada salida de campo, intentando tomar el mismo número de muestras para hembras y para machos. La muestra de sangre se tomó con tubos capilares de la vena que pasa por el uropatagio y se almacenó en viales con 1 ml de etanol al 70%. Las muestras de sangre fueron deshidratadas a 40°C durante 48 horas y fueron maceradas. Se encapsuló una submuestra de 0.5 mg para ser analizada posteriormente en un espectrómetro de masas de flujo continuo (marca Europa) en el Laboratorio de Isótopos Estables del Instituto Leibniz de Vida silvestre y Zoología (Berlín, Alemania), donde se obtuvieron las proporciones de la composición isotópica de C y N ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) expresados en partes por mil (‰).

Adicionalmente, se colectaron muestras de los posibles tipos de alimento disponibles para el murciélago pescador, principalmente insectos, crustáceos y peces. Estas muestras fueron sometidas al mismo proceso que las de la sangre y fueron usadas en ecuaciones de balance de masas para estimar el aporte relativo de cada una de ellas.

Muestreo de peces:

Las artes de pesca empleadas fueron una atarraya y cuatro nasas. La atarraya empleada estaba constituida de multifilamento y tenía una dimensión de 1 m de radio con un ojo de malla de 1 cm. Los muestreos se llevaron a cabo después del atardecer durante dos noches en cada salida de campo. En cada noche se realizaron entre 8 y 10 lances para un total de 88 lances de atarraya. Los muestreos se realizaron en el litoral y desde varias rocas que sobresalen sobre el nivel del mar.

Además, se instalaron entre 3 y 4 nasas a una distancia de 50 m entre sí aproximadamente y a 10 metros de distancia del litoral. Se cebaron con botanas de maíz y se instalaron al atardecer permaneciendo activas toda la noche para ser revisadas en la mañana. El esfuerzo se calculó como el número de horas x número de trampas x número de noches. En total se realizaron 396 horas de esfuerzo (Tabla 1). También se hicieron muestreos con redes de cuchara (dip net) en la zona del litoral y en las pozas intermareales. Estos muestreos se realizaron al atardecer durante una hora. En total se realizaron 10 horas de esfuerzo (Tabla 1). Todos estas artes de pesca fueron llevadas a cabo durante todos los meses de muestreo excepto en diciembre debido a que las fuertes mareas y vientos no permitieron ingresar al mar.

Tabla 1. Esfuerzos realizados en cada método de muestreo durante cada mes muestreado y total para capturar peces, insectos y pequeños crustáceos.

Método de muestreo	jun	sep	oct	Dic	feb	Abr	May	Total
Atrarraya+	0	10	18	10	10	20	20	88
Nasa	0	96	84	0	43.5	87	85.5	396
Trampas de luz	7	32	32	24	28	32	16	171
Arrastres*	1	4	4	4	2	4	6	25
Pozas intermareales	0	2	2	2	1	2	1	10

+ Esfuerzo estimado como número de lances de atrarraya. * Esfuerzo estimado como número de arrastres realizados. Para las nasas y trampas de luz correspondió al número de horas x No. de trampas x No. de noches. Para las pozas intermareales fue estimado como horas de búsqueda.

Muestreo de insectos:

Para el muestreo de insectos se instalaron trampas de luz que consistieron de una bandeja blanca con alcohol y de una lámpara recargable de luz blanca que atrae los insectos nocturnos. Se instalaron cuatro trampas por noche durante dos noches y cada noche se ubicaron en un lugar diferente durante los meses de muestreo. En junio, diciembre y mayo solo pudieron ser instaladas durante una noche debido a la presencia de fuertes vientos y lluvias que podían influir en la actividad de los insectos disminuyendo su tasa de captura y a que la carga de las lámparas solo fue suficiente para mantenerlas encendidas una noche. Las trampas se pusieron a 50 m entre sí aproximadamente y su ubicación fue georeferenciada. Al igual que para las nasas, el esfuerzo se calculó como el número de

horas x número de trampas x número de noches. En total se realizaron 171 horas/trampa/noche (Tabla 1).

Muestreo de pequeños crustáceos:

Para capturar los pequeños crustáceos se llevaron a cabo arrastres con redes de zooplancton. La red empleada tenía una longitud de 0.45 m y un diámetro de la boca de 0.15 m. Se realizaron dos arrastres cada noche y se muestreó durante dos noches en todos los meses de muestreo, excepto en junio donde solo se realizó un arrastre y en diciembre donde no se hizo ningún muestreo debido a que las fuertes mareas y vientos no permitieron ingresar al mar. En total se realizaron 25 arrastres en donde la distancia recorrida durante el arrastre osciló entre 80 y 100 m en dirección del mar hacia el litoral. También se colectaron crustáceos durante los muestreos realizados en las pozas intermareales.

A partir de estos muestreos se estimó el éxito de muestreo para peces, crustáceos e insectos a lo largo de los meses muestreados. El éxito de muestreo fue calculado como: [número de individuos/esfuerzo de muestreo] x 100. Fue multiplicado por 100 para establecer comparaciones.

Análisis de datos

Análisis de excretas

Se analizó la muestra completa colectada a cada individuo, para la cual se estimó el área ocupada por cada ítem alimenticio en las excretas a partir de la relación del área ocupada por cada tipo de alimento con respecto al área ocupada por todos los tipos de alimento encontrados. Para ello se usó una cuadrícula de papel milimétrico sobre la cual se colocó una caja de petri con la muestra de excreta y se examinó con un microscopio estereoscópico marca Zeiss modelo STEMI SR (0.8x a 5x). Además, se estimó la frecuencia de aparición de cada tipo de alimento en las excretas (e.g, se consideró que el alimento estaba presente si se encontraba en al menos un cuadro de la cuadrícula examinada). La frecuencia de ocurrencia se expresó en porcentaje (Whitaker 1988).

Los análisis de excretas se realizaron con muestras tomadas en los meses muestreados durante 2008 y 2009 (junio, septiembre, octubre y diciembre del 2008 y febrero, abril y mayo 2009) al igual que con muestras colectadas previamente en los meses de enero y marzo del 2001. De esta manera, incluir las muestras del año 2001 permite tener una serie de datos que cubre las cuatro estaciones climáticas: junio y septiembre (verano), octubre (otoño), diciembre y enero (invierno) y marzo (primavera).

Los restos de los tipos de alimento encontrados en las muestras de excretas fueron determinados hasta el nivel taxonómico mas detallado posible. En el caso de los insectos y crustáceos, los restos fueron determinados al comparar con los insectos colectados en las

trampas de luz y con los crustáceos atrapados en los arrastres de zooplancton y por comparación con literatura (McAney et al 1991, Ortman 1894). Así mismo, se recibió asesoría de expertos en insectos y de investigadores de la Colección Nacional de Crustáceos del Instituto de Biología, UNAM. La identificación de los peces fue hecha con base en los otolitos encontrados en la excretas, los cuáles fueron identificados por comparación con guías fotográficas (Neogene Marine Biota of Tropical America, AFORO, National Marine Fisheries Service, FishBase), revisión de literatura (Fitch 1967, 1972, Rivaton y Bourret 1999, Mascareñas-Osorio et al. 2003) y con la ayuda de un experto del Departamento de Biología Animal de la Universidad de Lisboa. La identificación de los peces colectados en las salidas de campo fue llevada a cabo con ayuda de especialistas de la Colección Nacional de Peces del Instituto de Biología, UNAM. El material colectado se presenta en el Anexo 1.

Debido a que los datos correspondientes a las proporciones del área ocupada por cada tipo de alimento encontrado en las excretas no cumplieron con los supuestos de normalidad, se emplearon pruebas no paramétricas. Se empleó la prueba de Wilcoxon para determinar si existían diferencias en la proporción de peces, crustáceos e insectos encontradas entre los pares de meses de febrero 2009 y enero 2001 (meses de invierno), al igual que entre abril 2009 y marzo 2001 (meses de primavera). La prueba de Kruskal Wallis fue empleada para determinar si las proporciones de crustáceos, de peces y de insectos era similar entre los meses muestreados: junio, septiembre, octubre y diciembre de 2008, febrero, marzo y abril de 2009, y enero y marzo de 2001. Se entendió como factor el mes de muestreo y las variables respuestas fueron la proporción de cada tipo de alimento. Cuando la presencia de

alguna de las variables respuesta fue estadísticamente significativa entre los meses muestreados, se empleó la prueba de Wilcoxon para comparar entre los meses. Las diferencias significativas entre los meses se señalan con letras (a, b, c) en las gráficas y tablas correspondientes. Todos los análisis fueron realizados con el software SPSS 7.5 para Windows.

Análisis de isótopos estables

Las proporciones de la composición isotópica de C y N fueron expresadas en partes por mil (‰) a partir de los estándares internacionales para el carbono y el nitrógeno de acuerdo a la ecuación:

$$\delta X = [(R_{\text{muestra}} / R_{\text{estándar}}) - 1] \times 1000$$

en donde δX es ^{13}C o ^{15}N , R es la correspondiente proporción de $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$ o $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$ tanto de la muestra analizada como de los estándares con los cuales se compara (Herrera et al 2001b, 2002). $R_{\text{estándar}}$ para el ^{13}C fue la caliza de Pee Dee Belemnite y para el ^{15}N fue el N_2 atmosférico.

Los análisis de isótopos estables se realizaron con muestras tomadas en junio, septiembre, octubre y diciembre de 2008 y con muestras colectadas previamente en enero y marzo de 2001. Las muestras de 2001 fueron utilizadas con el fin de recopilar una serie de datos que cubriera un año de muestreo: junio y septiembre (verano), octubre (otoño), diciembre y enero (invierno) y marzo (primavera).

Debido a que los valores isotópicos del carbono y nitrógeno de los murciélagos, de las fuentes marinas y de las terrestres no siguen una distribución normal, se realizaron análisis de varianza no paramétricos. Se usó la prueba de Kruskal-Wallis para determinar si existían diferencias significativas en los valores isotópicos de las fuentes terrestres y marinas durante los seis meses analizados. Esta prueba también fue empleada para evaluar diferencias en los valores isotópicos de carbono y nitrógeno de los murciélagos en los meses analizados. Cuando hubo diferencias significativas, se empleó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para comparar entre los meses. Las diferencias significativas entre los meses se señalan con letras (a, b, c) en las gráficas y tablas correspondientes. Estos análisis fueron realizados con el software SPSS 7.5 para windows.

Para analizar la dieta de los murciélagos se empleó un modelo mixto lineal estimado a partir de dos fuentes posibles de alimento y un isótopo, en donde las fuentes consideradas fueron marina (peces y crustáceos) y terrestre (coleópteros) y el isótopo empleado fue el nitrógeno debido a la clara diferencia de los valores isotópicos de nitrógeno entre los organismos marinos y terrestres. Este modelo está basado en una ecuación de balance de masas donde se asume que la composición isotópica de los tejidos del consumidor será igual a la composición isotópica de las fuentes posibles de alimento (Martínez del Río y Wolf 2005). Este modelo se basa en la ecuación:

$$\delta X_{\text{tejido}} = p \delta X_A + (1 - p) \delta X_B$$

donde p es igual a la fracción de la dieta asimilada de la fuente A y la fracción de la dieta asimilada de la fuente B es igual a 1-p, δX_A y δX_B son la composición isotópica de las fuentes posibles de alimento A y B respectivamente. En el caso de la dieta del murciélago la ecuación se entendería de la siguiente manera:

$$\delta^{15}\text{N}_{\text{sangre murciélago}} = p \delta^{15}\text{N}_{\text{organismos marinos}} + (1 - p) \delta^{15}\text{N}_{\text{organismos terrestres}}$$

Debido a que no existen valores experimentales del factor de fraccionamiento del nitrógeno para murciélagos piscívoros, se empleó el factor de fraccionamiento de 3.5‰ para el nitrógeno, puesto que es el valor promedio reportado para animales en la literatura (Hobson y Clark 1992, Hildebrand et al. 1996)

Los valores empleados en el modelo lineal mixto correspondieron al promedio anual de los valores isotópicos del nitrógeno tanto para las fuentes marinas como para las terrestres. Los datos obtenidos a partir del modelo lineal mixto presentaron muchos ceros por lo cual se usó un modelo lineal generalizado (MGL) con distribución binomial y función logit, para determinar si existían diferencias en el aporte de cada fuente de alimento (terrestre o marina) al nitrógeno asimilado por los murciélagos. Cuando el aporte de alguna de las fuentes fue estadísticamente significativo, se hicieron comparaciones entre pares de meses para determinar entre cuáles había diferencias significativas. Todos los análisis fueron realizados en el software R versión 2.9.1 2004-2009.

RESULTADOS

Análisis de excretas

Para los análisis de excretas se emplearon 189 muestras, 168 muestras del periodo 2008-2009 y 21 muestras de enero y marzo de 2001. El número de muestras analizadas varió entre 7 y 40 por mes. En todas las muestras se establecieron tres categorías de ítems alimenticios: peces, crustáceos e insectos. Estas categorías se establecieron a partir de las estructuras encontradas, que en el caso de los peces constituyeron restos óseos, otolitos y escamas. Los crustáceos fueron identificados por los restos de exoesqueletos y partes corporales como extremidades, telson, urópodos, antenas, antenulas y partes de los ojos, y de los insectos se encontraron restos de extremidades y palpos mandibulares.

Adicionalmente, se encontraron otros elementos que no fueron considerados como alimentos y correspondieron a pelos, ácaros, plumones y material no identificado (MNI) constituido por restos que no pudieron ser asignados a ninguna de las anteriores categorías. La mayoría de las excretas (78.3%) presentaron un único tipo de alimento, el 19.0 % presentó dos ítems alimenticios y en el 2.3% se encontraron los tres tipos de alimento. Las muestras exhibieron diferentes coloraciones, dependiendo del tipo de alimento encontrado: las muestras con restos de peces tuvieron color negro plateado, las que tuvieron restos de insectos fueron de color café, y las que tuvieron crustáceos fueron rojas. Estas observaciones coincidieron con las realizadas previamente por Maya (1968).

A partir de los restos observados en las excretas, se pudieron determinar los grupos taxonómicos hasta el nivel de familia en el caso de los peces y hasta el de orden para los crustáceos e insectos. Los restos de crustáceos correspondieron a individuos del orden Mysida o crustáceos misidáceos y todos los insectos pertenecieron al orden Coleoptera. Los otolitos más abundantemente encontrados en las excretas y que pudieron ser identificados correspondieron a individuos de la familia Myctophidae y probablemente se trata de tres especies diferentes. También se observó un otolito perteneciente a la familia Engraulidae, probablemente del género *Engraulis* sp. Los otolitos de los mictófididos no han podido ser determinados a nivel específico debido a la carencia de información sobre otolitos de esta familia para la zona. Así mismo, se observaron con menos frecuencia otros tres morfotipos de otolitos que no pudieron ser determinados.

Los peces fueron encontrados en todos los meses de muestreo, los crustáceos en todos los meses, excepto septiembre, y los insectos fueron registrados en junio y diciembre de 2008, en febrero, abril y mayo de 2009, y en enero y marzo de 2001 (Fig. 3). A partir de la frecuencia de estos ítems en las muestras totales se observaron cuatro tendencias. La primera ocurrió durante los meses de verano (junio y septiembre) y en el otoño (octubre), donde los peces fueron el tipo de alimento que tuvo una mayor frecuencia de ocurrencia puesto que más del 60% de las muestras presentaron restos de peces, alcanzando en septiembre el 100% de la ocurrencia y en octubre el 93.7%. Los crustáceos solo se registraron en junio y en octubre, alcanzando frecuencias intermedias (36% y 25%, respectivamente), mientras que en septiembre no fueron registrados. Los insectos solo aparecieron en junio representando un 6.7% de las muestras (Fig. 3).

La segunda tendencia fue la observada en los meses de invierno (diciembre y febrero y enero 2001), en donde los crustáceos fueron el ítem alimenticio más frecuente, puesto que estuvieron presentes en más del 80% de las muestras observadas de estos meses. Los peces tuvieron una frecuencia de aparición intermedia en diciembre y enero (33.0% y 57.1%, respectivamente), y los insectos alcanzaron su mayor frecuencia en el mes de enero (14.3%) seguido de diciembre (7.0%). La tercera tendencia se observó en abril y en marzo de 2001 (primavera), en donde los peces y crustáceos presentaron una frecuencia similar y los insectos tuvieron una frecuencia baja (7.1%) (Fig. 3). La cuarta tendencia ocurrió en mayo, donde los crustáceos fueron el alimento más frecuente, encontrándose en el 100% de todas las muestras, mientras que los peces e insectos tuvieron una frecuencia baja (17.5% y 2.5%, respectivamente) (Fig. 3).

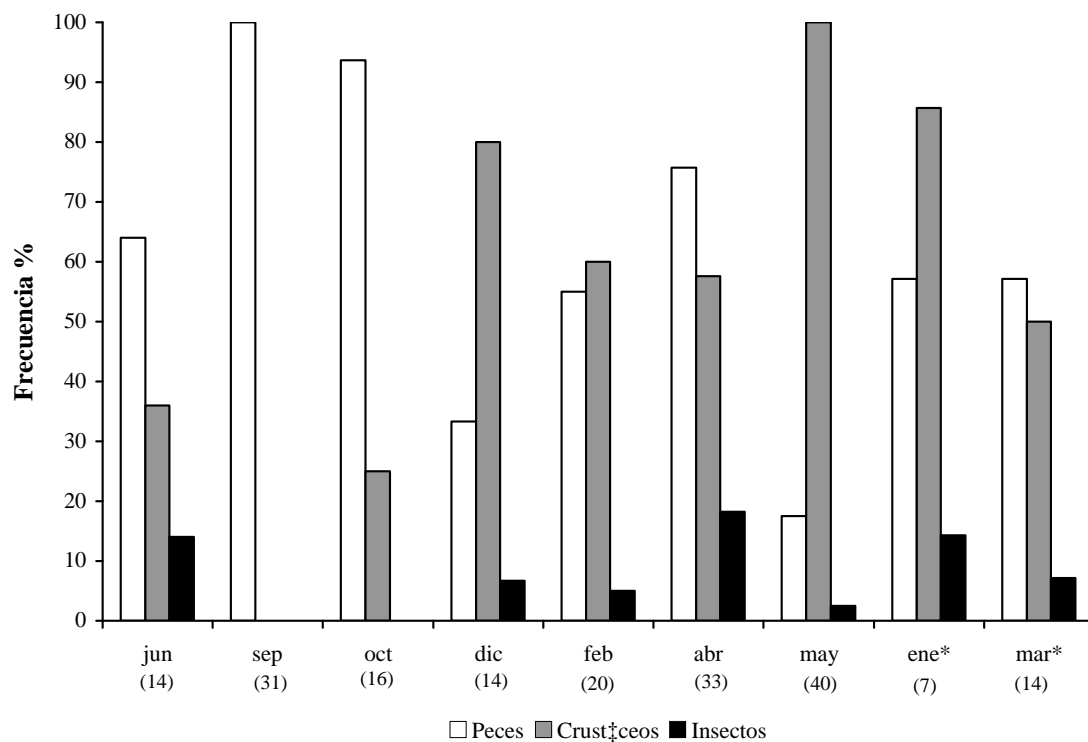


Figura 3. Frecuencia de ocurrencia (expresada en porcentaje) de los ítems alimenticios encontrados en el total de muestras de las excretas de *M. vivax* en Isla Partida Norte (Baja California, México). jun: junio, sep: septiembre, oct: octubre, dic: diciembre, feb: febrero, abr: abril, may: mayo, ene: enero, mar: marzo. * datos de 2001. En paréntesis se indica el número de excretas analizadas en cada mes.

Aunque las plumas, los pelos y los ácaros tuvieron un porcentaje intermedio de aparición, alcanzaron un bajo porcentaje promedio en las muestras totales, siendo menor al 10%. Es probable que estas categorías no fueran consumidas como alimento, sino más bien ingeridas ocasionalmente como el caso de las plumas o en procesos de acicalamiento como

los pelos y ácaros. Por esta razón, se consideraron los peces, los crustáceos y los insectos como las únicas categorías de alimento.

Los peces fueron el alimento que presentó el mayor porcentaje mensual promedio del área ocupada en las excretas en junio, septiembre y octubre (verano y otoño). Los restos óseos y escamas de peces encontrados en junio, septiembre y octubre alcanzaron porcentajes de 58.0, 100 y 84.6, respectivamente. En junio (33%) y octubre (15.4%), los crustáceos ocuparon porcentajes intermedios y bajos del área de la muestra, respectivamente. Los insectos solo se registraron en junio con un porcentaje promedio menor a 3% (Fig 4, Tabla 2).

En diciembre de 2008, febrero de 2009 y enero de 2001, se observó una tendencia diferente, donde los crustáceos fueron el tipo de alimento más importante, con valores de área ocupada de 84.5, 55.5 y 54.3%, respectivamente. Los peces presentaron un porcentaje bajo durante diciembre de 2008 (8.5%) e intermedio en febrero de 2009 (44.4%) y enero de 2001 (31.4%). Los insectos alcanzaron los mayores porcentajes promedio en enero de 2001 (14.3%) y en diciembre de 2008 (7.0%), y el más bajo en febrero de 2009 (0.1%) (Fig. 4, Tabla 2).

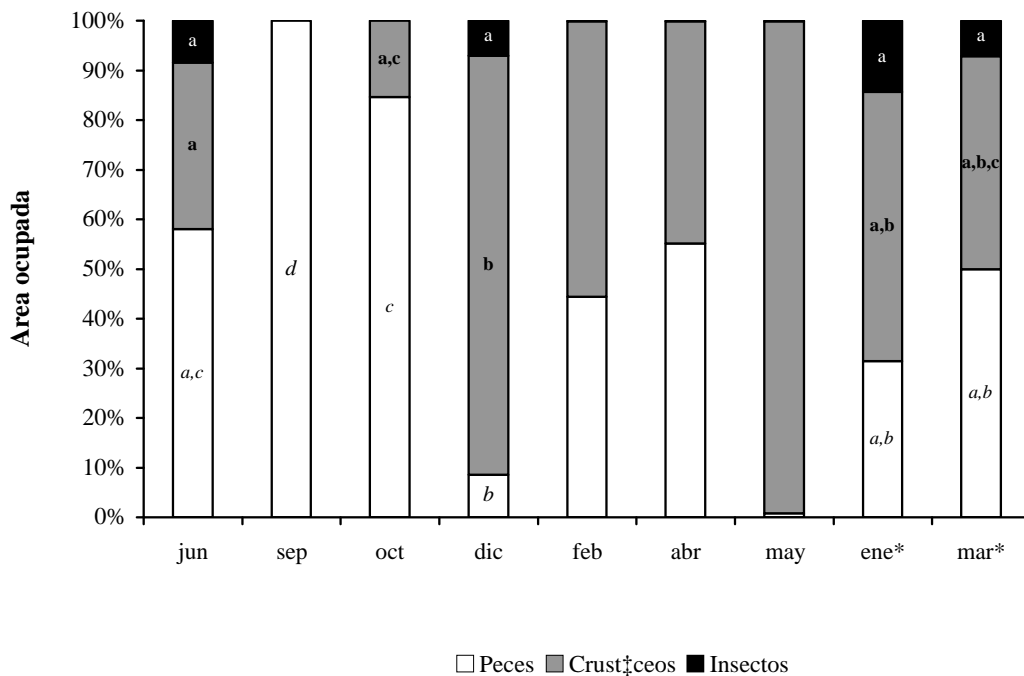


Figura 4. Área ocupada (expresada en porcentaje) por cada ítem alimenticio en las excretas de *M. vivax* en isla Partida Norte (Baja California, México). Los valores se expresan con relación al área de la muestra de excretas examinada en que se encontraron restos de alimento. * datos de 2001. jun: junio, sep: septiembre, oct: octubre, dic: diciembre, feb: febrero, abr: abril, may: mayo, ene: enero, mar: marzo. Letras indican diferencias significativas en el área ocupada para cada ítem alimenticio (itálica: peces; negrita: crustáceos; blanca: insectos).

Durante abril y mayo de 2009 y en marzo de 2001 (primavera), se observan otras tendencias, puesto que en estos meses los peces y crustáceos presentaron valores similares

de superficie ocupada en la muestra. Los insectos solo se registraron en marzo de 2001 alcanzando un porcentaje promedio de 7.1% (Fig. 4, Tabla 2). En el mes de mayo de 2009, los crustáceos fueron el tipo de alimento con el mayor porcentaje promedio (99.1%), y los peces y los insectos tuvieron un porcentaje promedio bajo (0.8% y 0.1%, respectivamente) (Fig. 4, Tabla 2).

Tabla 2. Área ocupada (expresada en porcentaje) por cada ítem alimentario en las excretas de *M. vivesi* en isla Partida Norte (Baja California, México). Los valores se expresan con relación al área de la muestra de excretas examinada en que se encontraron restos de alimento (media \pm D.E.).

Mes	N	Ítem alimenticio		
		Peces	Crustáceos	Insectos
Junio	14	58 \pm 48.5	33.6 \pm 47.3	8.4 \pm 26.8
septiembre	31	100 \pm 0.0	0	0
Octubre	16	84.6 \pm 32.7	15.4 \pm 32.7	0
diciembre	14	8.5 \pm 26.5	84.5 \pm 35.9	7.0 \pm 26.1
Febrero	20	44.4 \pm 48.2	55.5 \pm 48.1	0.1 \pm 0.2
Abril	33	55.2 \pm 46.0	44.7 \pm 46.1	0.1 \pm 0.2
Mayo	40	0.8 \pm 2.2	99.1 \pm 2.2	0.1 \pm 0.3
enero*	7	31.4 \pm 31.8	54.3 \pm 37.4	14.3 \pm 37.8
marzo*	14	50.0 \pm 50.5	42.9 \pm 50.0	7.1 \pm 26.7

*Datos de 2001.

Los porcentajes de área ocupada por los peces, crustáceos e insectos en las excretas fueron similares entre febrero de 2009 y enero de 2001 (peces $W= 60$, $p= 0.57$; crustáceos $W= 69.5$, $p= 1.0$; insectos $W= 77$, $p= 0.43$) y entre abril de 2009 y marzo de 2001 (peces $W= 234$, $p= 0.90$; crustáceos $W= 233$, $p= 0.97$; insectos $W= 245$, $p= 0.74$). De acuerdo a esto,

se emplearon los datos provenientes de enero y marzo de 2001 en conjunto con los de junio, septiembre, octubre y diciembre de 2008 para analizar las proporciones de peces, crustáceos e insectos a lo largo de un ciclo anual que incluyera la variación climática.

Los porcentajes de área ocupada por peces ($KW= 48, p< 0.05$) y crustáceos ($KW= 41, p< 0.05$) presentaron diferencias significativas entre los meses analizados (junio, septiembre, octubre y diciembre de 2008, enero y marzo de 2001). Por el contrario, no hubo diferencias en el porcentaje de insectos entre estos meses ($KW= 4, p=0.55$). De acuerdo a las comparaciones realizadas entre pares de meses, se encontró que en septiembre y octubre se registraron los promedios de área ocupada por fragmentos de peces más altos (100% y 84.6% respectivamente), los cuales fueron significativamente diferentes a los registrados en los otros meses ($p<0.05$, ver valores de p y de W para cada una de las comparaciones en la Tabla 3). El porcentaje de peces en diciembre fue el más bajo (8.5%) y fue similar al de enero 2001 ($W= 32.5, p= 0.19$) y al de marzo 2001 ($W= 62.5, p= 0.19$). En junio se registró un promedio intermedio de peces (58%) que fue similar al de enero de 2001 ($MW= 31.5, p= 0.18$) y al de marzo de 2001 ($W= 106, p= 0.71$) (Tabla 3).

El porcentaje de área ocupada por fragmentos de crustáceos registrado en junio tuvo un valor intermedio (33.6%) y fue similar al observado en octubre ($W= 130, p= 0.37$), enero 2001 ($W= 64.5, p= 0.23$) y marzo 2001 ($W= 85.5, p= 0.53$). El porcentaje encontrado en septiembre fue significativamente diferente de todos los demás ($p<0.05$) (ver valores de p y W en cada una de las comparaciones en la Tabla 3) debido a que no se encontraron crustáceos (0%). En diciembre se registró el mayor porcentaje de área ocupada por

crustáceos (84.5%) el cual fue similar al registrado en enero ($W= 70$, $p= 0.09$) y marzo de 2001 ($W= 137$, $p= 0.06$). Los porcentajes registrados en enero y marzo de 2001 fueron similares ($W= 58.5$, $p= 0.48$). (Tabla 3).

Tabla 3. Valores de p para la comparación del porcentaje de área ocupada por crustáceos (arriba diagonal) y peces (abajo diagonal) entre los meses muestreados en isla Partida Norte (Baja California, México). En negrita valores significativos. En paréntesis valores de W.

	junio	Septiembre	Octubre	Diciembre	Enero	Marzo
Junio	----	0.0005 (294.5)	0.368 (130)	0.015 (147)	0.230 (64.5)	0.533 (85.5)
Septiembre	0.0001 (112)	----	0.043 (310)	4.06x10⁻⁹ (403)	4.06x10⁻⁹ (201.5)	2.62x10⁻⁵ (325.5)
Octubre	0.100 (77.5)	0.019 (192)	----	0.0002 (196.5)	0.009 (92)	0.100 (146.5)
Diciembre	0.027 (53)	1.68x10⁻⁹ (403)	3.86x10⁻⁹ (18.5)	----	0.097 (70)	0.060 (137)
Enero	0.183 (31.5)	1.14x10⁻⁸ (0)	0.001 (10.5)	0.186 (32.5)	----	0.481 (58.5)
Marzo	0.707 (106)	2.25x10⁻⁵ (96)	0.039 (68)	0.078 (62.5)	0.365 (37)	----

Análisis de isótopos estables

Muestreo de peces, insectos y crustáceos:

En cuanto a los resultados del muestreo de peces, insectos y crustáceos se encontró que el muestreo de misidáceos presentó el mayor éxito en todos los meses, excepto en junio (Fig. 5). Los misidáceos fueron más abundantes en mayo (primavera) y en diciembre (invierno),

los coleópteros fueron capturados en junio, septiembre, octubre, abril y mayo siendo más abundantes en septiembre y octubre (verano). Los peces fue el grupo con menor éxito de captura siendo más abundantes en abril y mayo (primavera) (Fig. 5).

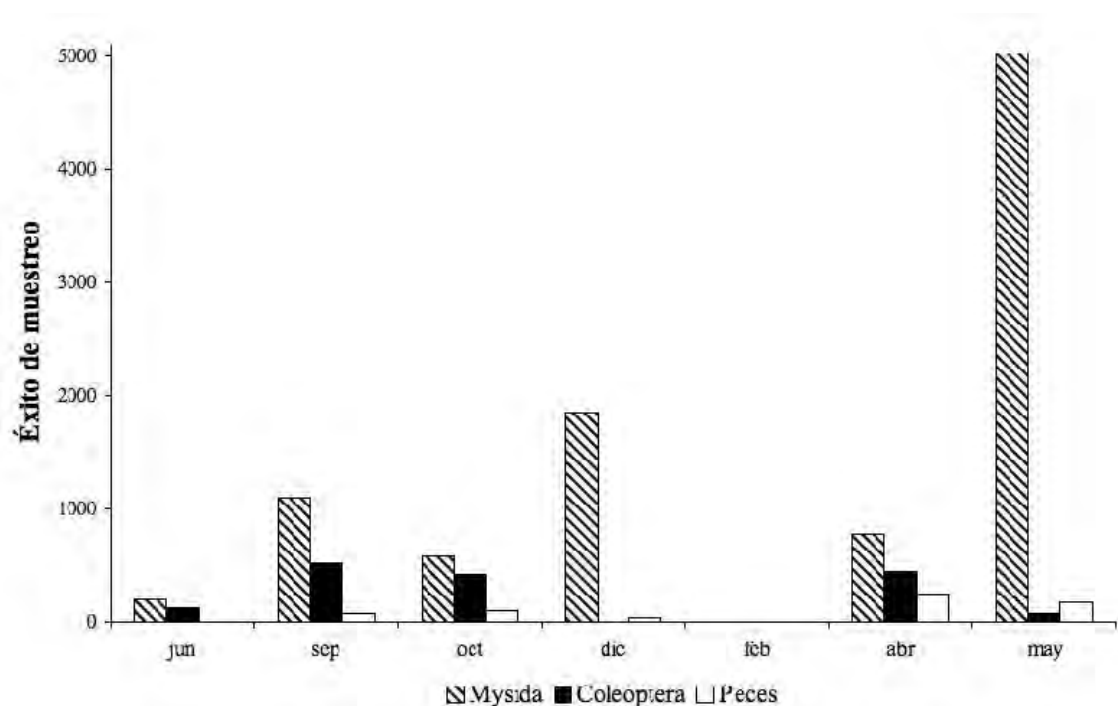


Figura 5. Éxito de muestreo [(número de individuos colectados/esfuerzo de muestreo) x 100] de misidáceos, coleópteros y peces colectados en los meses de muestreo en isla Partida Norte (Baja California, México).

A partir de estas colectas, se analizaron siete muestras de peces, 20 muestras de crustáceos y 18 de insectos. Se analizaron en total 10 muestras de la sangre del murciélago pescador durante cada mes para un total de 60 muestras. En junio y diciembre no se colectaron muestras de coleópteros, por lo que se empleó un valor promedio de los valores isotópicos

de los coleópteros colectados en septiembre y octubre. Los valores de las fuentes marinas para los meses de septiembre y diciembre solo incluyen muestras de crustáceos. En marzo no se colectaron muestras de fuentes marinas y terrestres por lo que se consideraron los valores obtenidos en enero de 2001 para este mes.

Los valores isotópicos de carbono y nitrógeno fueron empleados simultáneamente para esclarecer patrones en la dieta de los murciélagos, particularmente en identificar el origen terrestre o marino de los insectos incluidos en su dieta. Los insectos en Isla Partida Norte exhibieron altos valores de $\delta^{15}\text{N}$ los cuales están determinados por el alto enriquecimiento de nitrógeno observado en las plantas que crecen en el suelo fertilizado por las excretas de las aves. De esta manera, los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de los insectos permitieron determinar su origen terrestre y asociación con plantas que derivan nitrógeno ornitogénico.

El valor isotópico promedio anual del carbono para las fuentes terrestres fue de $-13.9\text{‰} \pm 2.1$ y el nitrógeno alcanzó un promedio anual de $42.1\text{‰} \pm 5.0$. En cuanto a las fuentes marinas, el valor isotópico promedio anual del carbono fue de $-14.5\text{‰} \pm 3.0$ y el de nitrógeno de $19.9\text{‰} \pm 2.1$. En cuanto a los valores isotópicos del murciélago pescador, el carbono tuvo un promedio anual de $-16.9\text{‰} \pm 1.0$ y el nitrógeno de $18.1\text{‰} \pm 2.1$ (Tabla 4).

Tabla 4. Valores isotópicos del $\delta^{13}\text{C}$ (‰) y del $\delta^{15}\text{N}$ (‰) (media \pm D.E.) de la sangre de *M. vivesi* y de las posibles fuentes de alimento marino y terrestre durante los meses muestreados en isla Partida Norte (Baja California, México). Las letras indican diferencias significativas en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (itálica: $\delta^{13}\text{C}$; negrita: $\delta^{15}\text{N}$).

Tipo de Muestra	<i>M. vivesi</i>		Fuentes marinas		Fuentes terrestres	
	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
junio	-18.3 \pm 0.8 ^a	17.9 \pm 0.9 ^a	-15.1 \pm 3.2	19.6 \pm 2.1	-13.3 \pm 1.8	39.8 \pm 4.3
septiembre	-16.9 \pm 0.2 ^b	20.3 \pm 0.3 ^b	-11.9 \pm 3.0	20.5 \pm 0.9	-13.1 \pm 1.0	41.2 \pm 5.0
octubre	-17.4 \pm 0.7 ^{b,c}	20.0 \pm 0.4 ^b	-12.5 \pm 3.3	21.0 \pm 1.4	-13.6 \pm 2.5	38.5 \pm 3.4
diciembre	-17.4 \pm 0.2 ^c	19.1 \pm 0.3 ^c	-14.4 \pm 3.1	21.1 \pm 3.9	-13.3 \pm 1.8	39.8 \pm 4.3
Enero*	-15.5 \pm 0.2 ^d	15.9 \pm 0.8 ^d	-16.3 \pm 0.8	18.8 \pm 1.5	-14.3 \pm 2.2	43.6 \pm 4.8
marzo*	-16.0 \pm 0.1 ^e	15.2 \pm 0.8 ^d	-16.3 \pm 0.8	18.8 \pm 1.5	-14.3 \pm 2.2	43.6 \pm 4.8
Promedio anual	-16.9 \pm 1.0	18.1 \pm 2.1	-14.5 \pm 3.0	19.9 \pm 2.1	-13.9 \pm 2.1	42.1 \pm 5.0

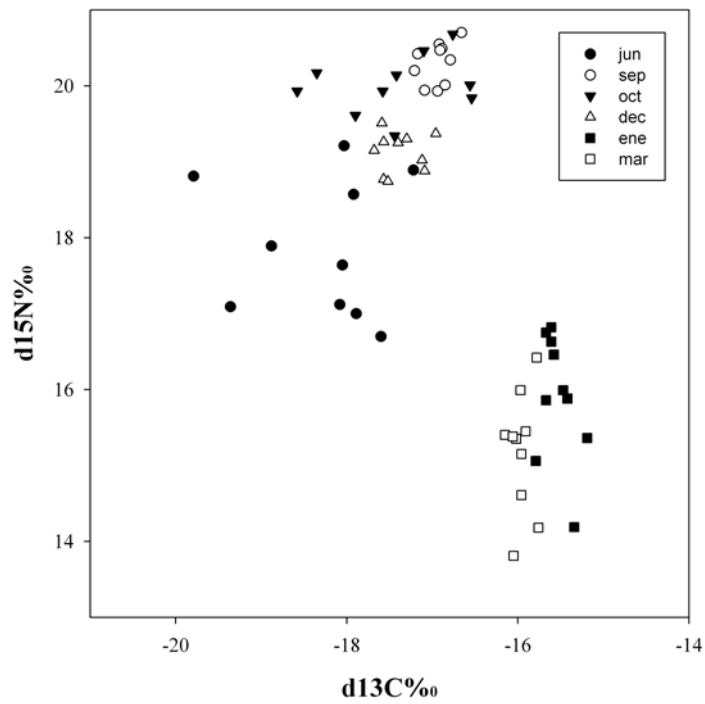
*Datos de 2001.

Los valores isotópicos promedio del carbono (KW= 1.3, p= 0.51) y del nitrógeno (KW= 5, p=0.09) de las fuentes terrestres no presentaron variaciones significativas entre los meses analizados Sin embargo, se observó que los menores valores del carbono y los mayores del nitrógeno fueron registrados en enero de 2001 (Tabla 4, Fig. 6c). Por el contrario, los valores isotópicos del carbono (KW= 11.9, p=0.01) y del nitrógeno (KW= 11.5, p=0.02) de las fuentes marinas sí fueron significativamente diferentes en los meses analizados. Los valores isotópicos del carbono de las fuentes marinas de junio y diciembre no difirieron significativamente con respecto a los otros meses (p> 0.05). Los mayores valores del carbono se alcanzaron en septiembre y octubre (-11.9 ‰ y -12.5 ‰, respectivamente) y sólo fueron significativamente diferentes a los observados en enero 2001 (septiembre-enero

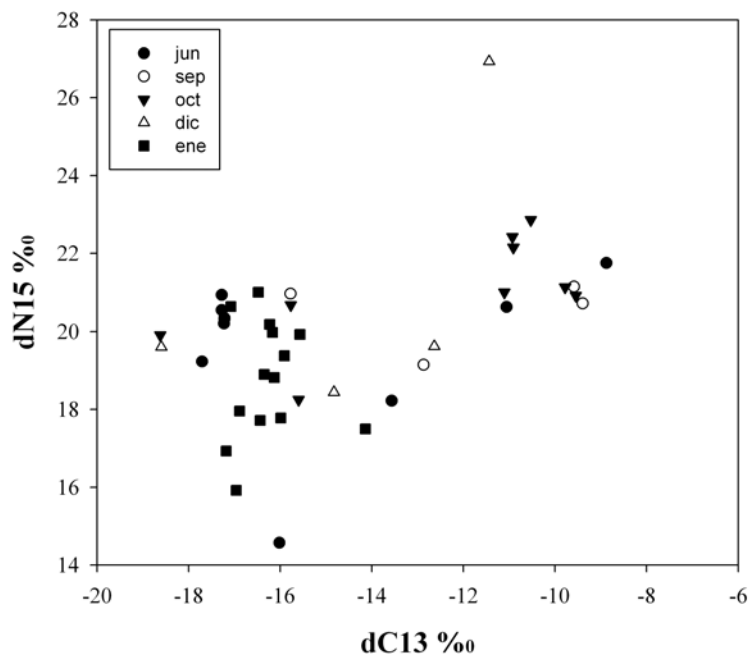
W= 80, $p < 0.05$; octubre-enero W= 94, $p < 0.05$), mes en el cual se observaron los menores valores del carbono (-16.3 ‰). En cuanto a los valores isotópicos del nitrógeno, éstos alcanzaron los mayores valores en octubre y diciembre (21.0 ‰ y 21.1 ‰ respectivamente), pero solo los valores de octubre fueron significativamente diferentes a los registrados en junio (W= 61.5, $p < 0.05$) y en enero (W= 93.5, $p < 0.05$), meses en los cuales se observaron los menores valores del nitrógeno (19.6 ‰ y 18.8 ‰, respectivamente) (Tabla 4, Fig 6b). Los valores registrados en septiembre y diciembre no difirieron significativamente con respecto a los otros meses ($p > 0.05$).

Los valores isotópicos promedios de carbono y nitrógeno del murciélago pescador fueron más cercanos a los de las fuentes marinas en todos los meses muestreados, sugiriendo que la dieta del murciélago pescador fue principalmente de origen marino (Fig. 7). Los valores isotópicos promedio de $\delta^{13}\text{C}$ de la sangre del murciélago pescador fueron significativamente diferentes entre los meses analizados (KW= 49.8, $p < 0.05$). De acuerdo a las pruebas realizadas entre meses, los valores observados en junio fueron diferentes de todos los demás meses ($p < 0.05$, ver diferencias significativas en la Tabla 4), siendo los más bajos (-18.3‰) que se registraron. En octubre, diciembre y septiembre se observan valores intermedios, en donde el $\delta^{13}\text{C}$ en septiembre fue solo similar al de octubre (W= 80, $p=0.16$) y el $\delta^{13}\text{C}$ registrado en diciembre fue solo similar al de octubre (W= 105, $p=1.0$). Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ observados en enero de 2001 y marzo 2001 fueron diferentes de todos los demás meses ($p < 0.05$), siendo los valores más altos (-15.5‰ y -16.0‰, respectivamente).

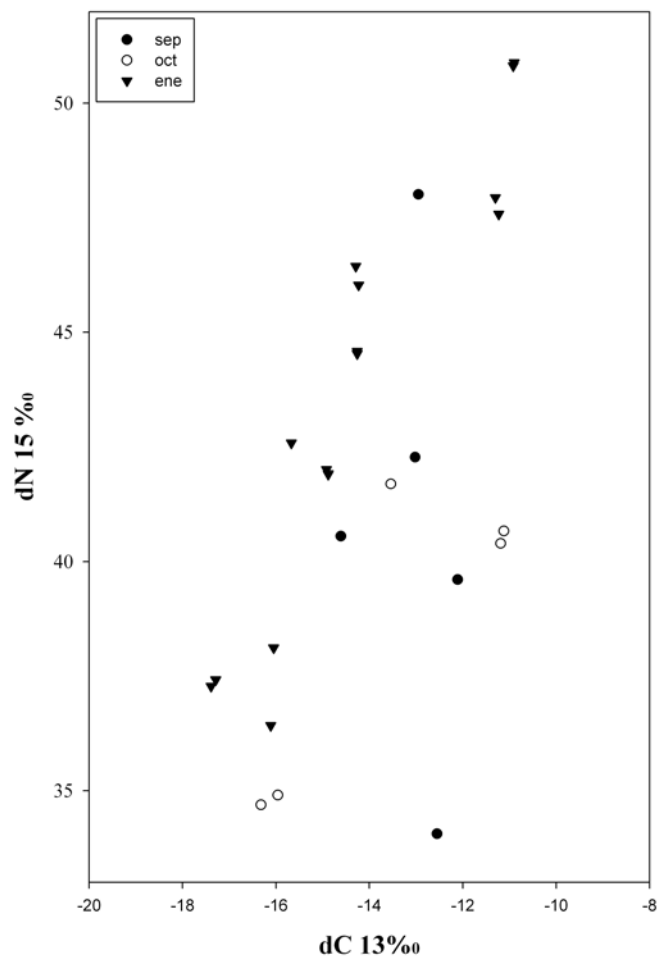
Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ presentaron diferencias significativas entre los meses analizados (KW= 54, $p < 0.05$). En junio y diciembre se registraron valores intermedios (17.9‰ y 19.1‰, respectivamente) que fueron significativamente diferentes a los de los otros meses ($p < 0.05$, ver diferencias significativas en la Tabla 4). Los valores registrados en septiembre y octubre fueron similares entre sí ($p = 0.06$) siendo los mayores valores de $\delta^{15}\text{N}$ (20.3‰ y 20.0‰, respectivamente) por lo que difirieron con los otros meses ($p < 0.05$). En enero y marzo de 2001 los valores isotópicos del nitrógeno fueron similares ($p = 0.06$) siendo los más bajos para los meses analizados (15.9‰ y 15.2‰) por lo que difirieron con los otros meses ($p < 0.05$).



a. *Myotis vivesi*.



b. Fuentes marinas.



c. Fuentes terrestres.

Figura 6. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de a) la sangre del murciélago pescador, b) de las fuentes marinas y c) de las fuentes terrestres durante los meses de junio (jun), septiembre (sep), octubre (oct) y diciembre (dic) de 2008, y de enero de 2001 en isla Partida Norte (Baja California, México). Cada valor corresponde a un individuo.

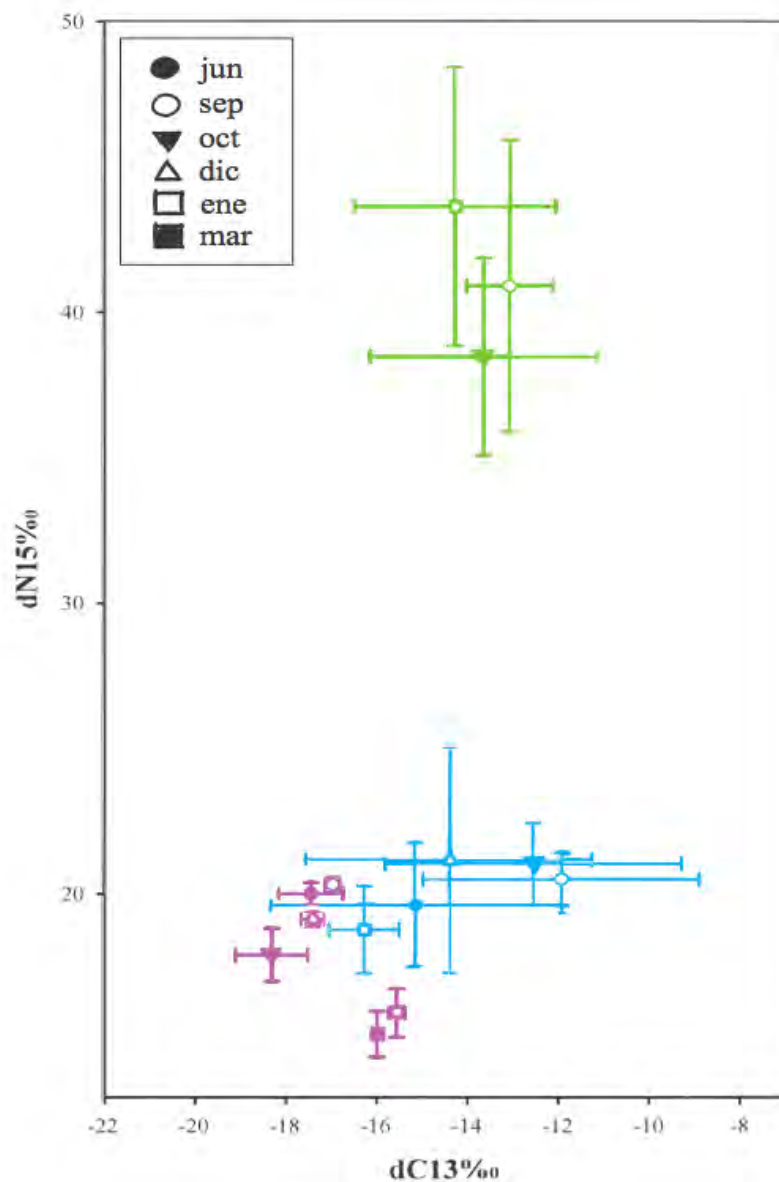


Figura 7. Composición de isótopos estables de C y N del murciélago pescador (morado) y de las fuentes de alimento marinas (azul) y terrestres (verde) en los meses analizados en isla Partida Norte (Baja California, México). Medias mensuales \pm D. E.

Los valores de las contribuciones de las fuentes terrestre y marina estimadas por el modelo mixto lineal presentaron valores negativos. Debido a que los valores negativos no tienen sentido biológico, éstos fueron reemplazados por 0 y los demás fueron re calculados manteniendo su contribución proporcional de tal manera que la suma de las dos fuentes fuera igual a 1. Los resultados de estas contribuciones se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Contribución de las fuentes terrestres y marinas al nitrógeno asimilado a partir de las muestras de sangre de *M. vivesi* (medias \pm D.E). Valores entre 0 y 1

Mes	Proporción de nitrógeno asimilado	
	Fuentes terrestres	Fuentes marinas
Junio	0.0 \pm 0.0	1.0 \pm 0.0
septiembre	0.023 \pm 0.012	0.977 \pm 0.012
Octubre	0.012 \pm 0.013	0.988 \pm 0.013
Diciembre	0.0 \pm 0.0	1.0 \pm 0.0
enero*	0.0 \pm 0.0	1.0 \pm 0.0
marzo*	0.0 \pm 0.0	1.0 \pm 0.0

*Datos de 2001

Se observó que la asimilación del nitrógeno a partir de las fuentes terrestres (Dev: 102, $p < 0.05$) y marinas (Dev: 102, $p < 0.05$) presentaron diferencias significativas en los meses analizados. El nitrógeno asimilado por los murciélagos en junio, diciembre, enero y marzo provino en su totalidad a partir de las fuentes marinas en donde no hubo aporte de las fuentes terrestres al nitrógeno asimilado (Tabla 5). De esta manera, la proporción de nitrógeno asimilado entre éstos meses fue similar ($p = 1$, ver valores de p y Devianza para cada una de las comparaciones en la Tabla 6). El nitrógeno asimilado por el murciélago pescador a partir de las fuentes terrestres durante septiembre y octubre fue

significativamente diferente al de los otros meses ($p < 0.05$), debido a que solamente en éstos meses hubo una baja proporción de nitrógeno asimilado que provino de las fuentes terrestres (0.023 y 0.012, respectivamente).

Tabla 6. Valores de p para la proporción de N asimilado por el murciélago pescador a partir de las fuentes terrestres (arriba diagonal) y marinas (abajo diagonal) entre los pares de meses comparados. En negrita valores significativos. En paréntesis valores de Devianza.

	junio	Septiembre	Octubre	Diciembre	Enero	Marzo
junio	----	1.42×10^{-8} (37)	1.00×10^{-5} (33.5)	1 (9×10^{-13})	1 (9×10^{-13})	1 (9×10^{-13})
septiembre	1.42×10^{-8} (40)	----	0.133 (21)	1.42×10^{-8} (37)	1.42×10^{-8} (37)	1.42×10^{-8} (37)
octubre	1.00×10^{-8} (33.5)	0.133 (21)	----	1.00×10^{-5} (33)	1.00×10^{-5} (33)	1.00×10^{-5} (33)
diciembre	1 (9×10^{-13})	1.42×10^{-8} (37)	1.00×10^{-5} (33)	----	1 (9×10^{-13})	1 (9×10^{-13})
enero	1 (9×10^{-13})	1.42×10^{-8} (37)	1.00×10^{-5} (33)	1 (9×10^{-13})	----	1 (9×10^{-13})
marzo	1 (9×10^{-13})	1.42×10^{-8} (37)	1.00×10^{-5} (33)	1 (9×10^{-13})	1 (9×10^{-13})	----

DISCUSIÓN

De acuerdo a los análisis de isótopos estables y las observaciones de las excretas se encontró que el origen de la dieta del murciélago pescador fue principalmente marino. Así mismo, el análisis conjunto de estas dos metodologías permitió determinar que los organismos marinos constituyeron su dieta principal a lo largo del año, siendo esta tendencia diferente a la hipotetizada.

Los análisis de las excretas indicaron que el murciélago pescador incluye principalmente organismos marinos en su dieta y en menor frecuencia y proporción organismos terrestres. De acuerdo a lo observado en las excretas, la presencia de peces, crustáceos e insectos encontrados en la dieta del murciélago pescador coincide con lo sugerido por Maya (1968). Sin embargo, este autor sugiere que los crustáceos son el principal tipo de alimento y que los peces e insectos son fuentes alimenticias secundarias, lo que difiere con los resultados de esta investigación ya que los análisis de isótopos y la observación de excretas mostraron que tanto los crustáceos como los peces fueron los alimentos principales para el murciélago pescador, siendo los crustáceos más importantes durante diciembre y febrero y enero de 2001 (invierno) y durante abril, mayo y marzo de 2001 (primavera), mientras que los peces fueron el alimento mas importante en junio y septiembre (verano) y durante octubre (otoño). Estas diferencias pueden deberse a que la investigación realizada por Maya (1968) tuvo en cuenta un menor número de muestras (22 contenidos estomacales) colectados solo durante tres meses: julio 1963 (verano), enero 1966 (invierno) y mayo 1966 (primavera). De esta manera, la variación estacional puede no verse representada en los pocos meses muestreados. Al igual que lo descrito por Maya (1969), los insectos presentaron una baja frecuencia de ocurrencia en las excretas y la contribución que hicieron al nitrógeno asimilado fue baja, por lo cual estos organismos pueden ser considerados como un tipo de alimento secundario

Información previa sobre la dieta del murciélago pescador incluyen el registro de Burt (1932), donde se corrobora por primera vez el consumo de peces pertenecientes a la tribu de las sardinas a partir de los contenidos estomacales de dos individuos, y la investigación

realizada en por Reeder y Norris (1954), en donde indican que el murciélago pescador consume pequeños crustáceos y mencionan un registro ocasional donde determinan que los insectos también hacen parte de su dieta. Si bien la investigación realizada por Maya (1968) presenta más información que los trabajos mencionados anteriormente, los datos de dieta provienen de una ventana temporal corta y a partir de un bajo número de muestras, por lo cual la información realizada en el presente estudio es la más exhaustiva hasta el momento debido a que se incluyen datos provenientes de un ciclo anual.

Los peces fueron consumidos durante todos los meses, probablemente porque en la región de las Grandes Islas se observa una alta supervivencia de larvas de peces a lo largo del año, debido a que presenta una temperatura superficial del mar menor que en el resto del golfo y procesos de mezcla vertical debido a las mareas y a la topografía lo que permite una alta productividad primaria y secundaria (Avalos-García et al. 2003). Así mismo, las larvas de peces son un recurso que el murciélago pescador puede explotar a lo largo del año, debido a que las larvas de especies de engráulidos y clupeideos son abundantes en el invierno mientras que las de mictófidios son abundantes en el verano (Moser et al. 1974, Avalos-García et al. 2003)

El consumo de peces de la familia Myctophidae puede estar relacionado con la gran abundancia de estos peces en todos los océanos, convirtiéndose en uno de los componentes importantes de la biomasa de las zonas mesopelágicas marinas (Kozlov 1995, Rodríguez-Varela et al. 2001). Debido a esto, los mictófidios son una fuente de alimento para organismos de mayor nivel trófico como peces, aves y mamíferos marinos (Kozlov 1995), y se consideran un componente clave en ecosistemas pelágicos marinos como la región de

transición del Pacífico Norte (Sassa 2009), el océano Austral (Kozlov 1995), el golfo de México (Rodríguez-Varela et al. 2001) y el golfo de California (Moser et al. 1974). Las especies de mictófididos son de tamaño pequeño y aunque son peces mesopelágicos típicos de grandes profundidades (De la Cruz 1997, Rodríguez-Varela et al. 2001), estas especies pueden ser consumidas por los murciélagos pescadores debido a que tienen comportamientos migratorios en la columna de agua y alcanzan la zona pelágica durante la noche (Robinson y Craddock 1983, Bañón et al. 2001). Además, presentan larvas pelágicas que pueden encontrarse durante casi todo el año en la zona de las Grandes Islas del golfo de California (Moser et al. 1974, Sánchez-Velasco et al. 2004a), por lo cual los murciélagos pueden alimentarse tanto de los adultos como de las larvas.

Los crustáceos del orden Mysida también fueron parte de la dieta del murciélago pescador durante todos los meses muestreados. Aunque existe poca información disponible sobre este grupo de crustáceos en el golfo de California (Lluch-Cota et al. 2007), los misidáceos son un grupo abundante del zooplancton encontrado en el golfo de California (Brinton et al. 1986). Debido a que la mayoría de las especies de misidáceos realizan migraciones en la columna de agua y alcanzan la zona pelágica durante la noche (Mauchline 1980), estos organismos constituyen un recurso alimenticio potencial para los murciélagos pescadores. Los misidáceos son fuente importante de alimento para organismos marinos como peces y mamíferos marinos en diversas localidades como el mar del norte, el ártico y el antártico (Mauchline 1980, Price 2004). Así mismo, la abundancia de misidáceos puede determinar la abundancia de organismos de gran tamaño como la ballena gris (*Eschrichtius robustus*), la cual se alimenta principalmente de estos crustáceos en la costa sur oeste de la isla de Vancouver (Canadá) (Pasztor 2008).

Los valores isotópicos promedio anual del $\delta^{13}\text{C}$ y del $\delta^{15}\text{N}$ del murciélago pescador también corroboran que su dieta es principalmente marina, puesto que estos valores son similares a los encontrados en animales que obtienen sus recursos de fuentes marinas como las aves marinas de Bahía de los Angeles (Anderson y Polis 1998). Los valores isotópicos promedio anual del carbono fueron similares a los registrados previamente para otros mamíferos como *Rattus rattus* en las islas del golfo de California (Rodríguez-Malagón 2009). Sin embargo, los valores isotópicos del nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$ promedio: 21.15‰ y 26.11‰) para *R. rattus* fueron más altos, sugiriendo que estos roedores obtuvieron la proteína principalmente de fuentes terrestres las cuales presentan altos valores de $\delta^{15}\text{N}$ debido al enriquecimiento que ocurre en el nitrógeno del suelo causado por la volatilización del amoníaco de las excretas de aves (Anderson y Polis 1999). Aunque los valores isotópicos cambian de acuerdo al tejido estudiado, los valores isotópicos del carbono y nitrógeno de la sangre del murciélago pescador fueron similares a los de la piel del lobo marino de Alaska *Callorhinus ursinus*, ($\delta^{13}\text{C}$: -16.0‰ a -17.3‰ y $\delta^{15}\text{N}$: 15.6‰ a 18.4‰) (Kurle y Worthy 2001), y a los valores isotópicos promedio determinados a partir del colágeno de la foca común, *Phoca vitulina* ($\delta^{13}\text{C}$: -14.2‰ y $\delta^{15}\text{N}$: 17.2‰) y el león marino de Steller, *Eumetopias jubatus* ($\delta^{13}\text{C}$: -14.3‰ y $\delta^{15}\text{N}$: 18.5‰) (Hirons et al. 2001), tres especies de pinípedos que obtienen la proteína de su dieta principalmente de peces. Al compararse los valores isotópicos del murciélago pescador con otros mamíferos marinos del golfo de California, se encontró que los valores isotópicos del rorcual común *Balaenoptera physalus* ($\delta^{13}\text{C}$: -17.7‰ a -16.7‰ y $\delta^{15}\text{N}$: 14.2‰ a 16.1‰) (Jaume 2004), son similares a los del murciélago pescador probablemente porque el rorcual también incluye en su dieta crustáceos marinos (eufásidos) y peces.

La variación de la presencia de peces y crustáceos en las excretas y el cambio en los valores isotópicos del murciélago pescador en los meses analizados indicó que la dieta del murciélago pescador fue diferente en los meses estudiados. Estas variaciones en la composición isotópica del murciélago pescador pueden estar relacionadas con un cambio en los tipos de presas consumidas o bien, con cambios en la señal isotópica de las presas (Dalerum y Angerbjörn 2005). La señal isotópica de las fuentes marinas, las cuales fueron las presas más consumidas, presentó variación significativa entre los meses analizados y adicionalmente, hubo un cambio en los tipos de presa encontrados en las excretas.

Los cambios en los tipos de presas consumidas a lo largo del año pueden estar relacionados con las variaciones climáticas observadas en la zona de Grandes Islas, donde la temperatura del mar cambia de 8° a 12 °C en invierno hasta 30 °C en el verano (Brusca et al. 2005). Durante la temporada de muestreo, la máxima temperatura superficial del mar fue de 29 °C en septiembre y la mínima de 17 °C en febrero (Fig. 2). Las condiciones oceanográficas a lo largo del año también son diferentes puesto que los vientos del noroeste generan las surgencias durante el invierno y los vientos del sur durante el verano (Alvarez-Borrego 2002). Así mismo, durante el invierno se observan fuertes vientos y en la zona norte del golfo tiene lugar la temporada de lluvias (Brusca et al. 2005).

A lo largo del año de muestreo (junio 2008 a mayo 2009) existió un cambio en la productividad primaria marina reflejado a partir de los cambios en la concentración de clorofila en el golfo de California (Datos tomados de www.nsof.class.noaa.gov y de www.oceancolor.gsfc.nasa.gov). La concentración de clorofila fue mayor durante los

meses de diciembre a febrero (invierno) y de marzo y abril (primavera) y menor en los meses de junio a septiembre (verano) y durante octubre y noviembre (otoño) (Fig. 2). Estos cambios en la productividad primaria a lo largo del año pueden afectar la presencia y/o abundancia de los organismos que dependen de ésta. Esto puede inferirse a partir de los cambios de la frecuencia y porcentaje promedio de los tipos de alimento observados en las excretas, en donde en junio y septiembre (verano) y en octubre (otoño) se observa una mayor frecuencia y porcentaje promedio de peces mientras que en diciembre y enero (invierno) hay una mayor frecuencia y porcentaje promedio de crustáceos. Estas fluctuaciones en los recursos en el golfo de California se han considerado como uno de los mecanismos por el cual otras especies como el rorcual común (*Balaenoptera physalus*) presenta cambios estacionales en la dieta (Ladrón De Guevara et al. 2008), pasando de alimentarse de crustáceos durante el invierno y primavera a consumir peces durante el verano (Jaume 2004, Guerrero et al. 2006).

La variación en los tipos de presas consumidos por el murciélago pescador a lo largo del año también se reflejó particularmente en la variación del $\delta^{15}\text{N}$ puesto que se observaron diferencias significativas en los valores isotópicos del nitrógeno siendo mayores en los meses de septiembre y octubre cuando su dieta se basó principalmente de peces de acuerdo a lo observado a las excretas, y los valores de $\delta^{15}\text{N}$ fueron significativamente menores durante los meses de enero y marzo cuando se alimentó principalmente de crustáceos marinos. Adicionalmente, la proporción de nitrógeno asimilado también presentó variación significativa entre los meses analizados debido a que en septiembre y octubre el nitrógeno asimilado por el murciélago pescador provino tanto de las fuentes terrestres como de las marinas. Aunque la proporción de nitrógeno asimilado a partir de las fuentes terrestres fue

muy bajo, es probable que un bajo consumo de insectos haya podido incidir en los altos valores del $\delta^{15}\text{N}$ observado en el murciélago pescador debido al enriquecimiento de nitrógeno que exhiben los insectos proveniente del consumo de organismos terrestres enriquecidos en nitrógeno ornitogénico. Aunque en las muestras de excretas no se encontraron restos de insectos durante estos meses, es probable que hayan ingerido insectos en las semanas previas a la colecta de las muestras de excretas.

Los valores de las contribuciones de las fuentes terrestre y marina al nitrógeno asimilado estimadas por el modelo mixto lineal, fueron analizadas con cautela puesto que presentaron valores negativos. Se obtuvieron valores negativos debido a que es probable que los valores de las fuentes alimenticias empleados en el análisis no correspondan a las que el murciélago pescador consume. Esto pudo deberse a que algunas de sus presas no pudieron ser capturadas durante los muestreos en cada estación, particularmente los peces de la familia Myctophidae.

Si bien la dieta fue diferente a lo largo del año, la tendencia observada fue diferente a la esperada dado que la dieta fue primordialmente de origen marino con un predominio de crustáceos en el invierno (diciembre y enero) y la primavera (marzo), y de peces en el verano (junio y septiembre) y el otoño (octubre). Por su parte, los insectos fueron consumidos esporádicamente y presentaron bajos porcentajes de aparición durante los meses de invierno (diciembre y enero), otoño (marzo) y solo en uno de los meses de verano (junio).

Los mayores valores de área ocupada por restos de crustáceos y su mayor frecuencia de aparición en las excretas con respecto al alcanzado por peces e insectos durante diciembre y enero pudieron estar relacionados con el mayor éxito de muestreo de crustáceos en la temporada de invierno y primavera. Aunque los muestreos realizados no fueron exhaustivos, se observó que el éxito de muestreo de los crustáceos, fue mayor que el de los peces e insectos durante los meses muestreados, presentando su mayor éxito en invierno (diciembre) y primavera (abril y mayo) (Fig. 7). La mayor abundancia de misidáceos en estas dos estaciones climáticas puede estar relacionada con la capacidad que tienen varias especies de crustáceos de tolerar amplias variaciones de temperatura (especies euritérmicas). Se ha registrado previamente que los misidáceos asociados a algas en islas del pacífico de California son más abundantes durante el invierno (Coyer 1984). Esta tendencia también ha sido registrada para otros grupos de crustáceos en el golfo de Baja California como decápodos no braquiuros los cuales presentan un mayor número de especies en la época de invierno (Villalobos 2000) y los eufásidos como *Nyctiphanes simplex* que presentan la mayor producción de larvas y alcanzan su mayor abundancia durante el invierno (Brinton et al. 1986, Ladrón de Guevara et al. 2008). Así mismo, la biomasa zooplanctónica también presenta su máxima abundancia en invierno (Jaume 2004).

El mayor porcentaje de frecuencia y porcentaje promedio de mictófidos durante los meses de junio y septiembre (verano) y octubre (otoño) en las excretas es similar al registrado para el lobo marino (*Zalophus californianus*) en el golfo de Baja California, puesto que los mictófidos del género *Diaphus* fueron una presa abundante y común en el verano y durante el otoño para los lobos (Bautista 2000). Así mismo, se ha observado que las larvas

planctónicas de los mictófididos se encuentran entre las más abundantes durante el verano en la bahía de La Paz (Sánchez-Velazco et al. 2004b) y durante el verano y el otoño en la zona de Grandes Islas del golfo de California (Moser et al. 1974, Avalos-García et al. 2003, Sánchez-Velazco et al. 2004a). Varias especies de mictófididos son consideradas de ambientes tropicales o subtropicales por lo cual presentan una mayor abundancia y aumento en su rango de distribución en el golfo de California durante las temporadas de verano y en otoño, temporadas en las cuales se registra la mayor temperatura superficial del mar (Moser et al. 1974, Aceves-Medina et al. 2004).

Sólo uno de los otolitos encontrado en las excretas fue similar a los del género *Engraulis* sp. La única especie del género *Engraulis* registrada en el golfo de California es *Engraulis mordax*, la cual ha sido registrada con mayor frecuencia en la zona de Grandes Islas durante las temporadas de otoño, invierno y primavera (Aceves-Medina et al. 2004). Así mismo, esta región ha sido considerada como su principal área de puesta de huevos en el golfo de California (Green-Ruiz y Cotero-Altamirano 2009). Junto con la sardina Monterrey (*Sardinops caeruleus*), son también un recurso alimenticio importante para otras especies en las Grandes Islas como la gaviota *Larus heermanii*, la cual se alimenta principalmente de clupeideos y engráulidos durante la temporada de anidamiento y parece haber una correlación entre la abundancia de peces y el consumo por parte de esta gaviota (Velarde et al. 1994, Velarde 1999).

Contrario a lo predicho, la presencia de insectos en las excretas no fue frecuente durante los meses de verano. De acuerdo a los muestreos realizados con trampas de luz, se observó que hubo un mayor éxito de captura de coleópteros en septiembre y octubre (Fig. 3), pero

durante estos meses no se encontraron insectos entre los restos observados en las excretas del murciélago pescador. Durante los meses de diciembre y febrero se presentó la menor abundancia y diversidad de órdenes de insectos, en donde los coleópteros no fueron colectados. Esto posiblemente esté relacionado con la temporada invernal puesto que durante esta estación se observan las temperaturas más bajas, fuertes vientos y lluvias (Alvarez-Borrego 2002, Brusca et al. 2005). Así mismo, los valores isotópicos del murciélago pescador reflejan que su dieta proviene principalmente de fuentes marinas.

El nitrógeno asimilado por el murciélago pescador provino principalmente de las fuentes marinas durante los meses analizados lo que puede sugerir que *M. vivesi* es una especie que puede actuar como conductor de materia y energía entre el ambiente marino y el ambiente terrestre. Organismos como el murciélago pescador que se alimentan en el mar pero que emplean las zonas terrestres como refugio o para desarrollar actividades como reproducción, cuidado de las crías o alimentación son considerados como uno de los mecanismos mediante los cuales se puede transferir materia inorgánica y nutrientes a las zonas terrestres (Anderson y Polis 2002, Polis et al. 2002, Fariña et al. 2003, Polis et al. 2004, García-Fernández 2005) a través de los productos de desecho (excreción y guano), cadáveres y restos de comida. De esta manera, el murciélago pescador puede movilizar materiales alóctonos a la isla que pueden integrarse posteriormente a la red trófica terrestre, siendo éste uno de los mecanismos sugeridos por Polis et al. (1997) mediante el cual predadores móviles entre hábitat contiguos y contrastantes ejercen un efecto directo en el flujo trófico y en los subsidios espaciales entre los ambientes que frecuentan.

Aunque en esta investigación no se estimó cuantitativamente la cantidad de nitrógeno que ingresa a la isla por la vía del murciélago pescador ni sus efectos directos en la cadena trófica terrestre, es probable que en Isla Partida Norte pueda tener incidencias considerables debido a que la población del murciélago pescador en esta isla alcanza un tamaño aproximado de 8000 individuos (Flores-Martínez et al. 2005) y las otras especies que pueden transportar materiales alóctonos como las aves marinas, tienen una menor riqueza específica en comparación con las islas vecinas (SEMARNAP 2000). Así mismo, los dos ambientes que frecuenta el murciélago pescador son bastante contrastantes en productividad primaria, siendo el ambiente marino altamente productivo mientras que la zona terrestre es un ecosistema desértico con baja productividad primaria tal como ha sido descrito en otras islas del golfo de California (Polis y Hurd 1996, Polis et al. 1997), por lo cual la entrada de materia inorgánica mediada por el murciélago pescador puede aumentar los nutrientes que pueden ser empleados por los productores primarios de la cadena trófica terrestre.

CONCLUSIONES

- El murciélago pescador, *Myotis vivesi*, incluye en su dieta principalmente organismos marinos y en una baja frecuencia y proporción organismos terrestres. Los peces son consumidos principalmente en verano y durante el otoño, mientras que los crustáceos son consumidos durante invierno y primavera. Esta tendencia fue diferente a la hipotetizada, puesto que se esperaba que la dieta fuera principalmente marina (crustáceos y peces) durante los meses de invierno (diciembre y enero) mientras que en los meses de verano (junio y septiembre) los insectos fueran la dieta principal.
- Debido a que la dieta del murciélago pescador está compuesta principalmente por organismos marinos a lo largo del año, el nitrógeno asimilado por esta especie de murciélago provino principalmente de las fuentes marinas. Al igual que las aves marinas, el murciélago pescador podría funcionar como un conductor de materia y energía alóctona para las islas donde habita.

LITERATURA CITADA

- Aceves-Medina G., S. P. A. Jiménez-Rosenberg, A. Hinojosa-Medina, R. Funes-Rodríguez, R. J. Saldierna-Martínez y. P. E. Smith. 2004. Fish larvae assemblages in the gulf of California. *Journal of Fish Biology* 65: 832–847.
- AFORO. Anàlisi de Formes d'Otòlits. Guía de fotografías de otolitos on-line.
<http://www.cmima.csic.es/aforo/index.jsp>. Último acceso enero 18 de 2010.
- Álvarez-Borrego S. 2002. Physical oceanography. Pp: 41-59 en Case T. J., M. L. Cody y E. Ezcurra (eds.). *A new island biogeography of the Sea of Cortés*. Oxford University Press.
- Anderson W. B. y G. A. Polis. 1998. Marine subsidies of island communities in the gulf of California: evidence from stable carbon and nitrogen isotopes. *Oikos* 81: 75-80.
- Anderson W. B. y G. A. Polis. 1999. Nutrient fluxes from water to land: seabirds affect plant nutrient status on gulf of California islands. *Oecologia* 118: 324-332.
- Anderson W. B. y G. A. Polis. 2002. Allochthonous nutrient and food inputs: Consequences for temporal stability. Pp: 82-96 en: Polis G. A., M. E. Power y G. R. Huxel (eds). *Food webs: at the landscape level*. Univ Chicago Press. Chicago
- Avalos-García C., L. Sánchez-Velasco y B. Shirasago. 2003. Larval fish assemblages in the gulf of California and their relation to hydrographic variability (autumn 1997-summer 1998). *Bulletin of Marine Science* 72: 63-76.

- Bañón R., S. Cerviño y J. M. Campelos. 2001. Composición, distribución y descripción de mictófidios (Pisces, Myctophidae) encontrados en Flemish Cap (Atlántico noroeste) en verano de 1998. *Boletín Instituto Español de Oceanografía* 17: 287-294.
- Bautista A. A. 2000. Variación estacional en la dieta del lobo marino común (*Zalophus californianus*), en las islas Ángel de la guarda y Granito, golfo de California, México. Tesis de licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. 113 pp.
- Ben-David M., K. Titus y L.V. R. Beier. 2004. Consumption of salmon by Alaskan brown bears: a trade-off between nutritional requirements and the risk of infanticide?. *Oecologia* 138: 465–474.
- Blood R. B. y M. K. Clark. 1998. *Myotis vivesi*. *Mammalian Species*. No 588: 1-3.
- Brinton E., A. Fleminger y D. Siegel-Causey. 1986. The temperate and tropical planktonic biotas of the gulf of California. *CalCOFI Rep.*, Vol. 27: 228-266.
- Brusca R. C, L. T. Findley, P. A. Hastings, M. E. Hendrickx, J. Torre C. y A. M. van der Heiden. 2005. Macrofaunal diversity in the gulf of California. Pp: 179-203 en Cartron J. E, G. Ceballos y R. S. Felger (eds). *Biodiversity, ecosystems and conservation in northern Mexico*. Oxford University Press.
- Brusca M. E. y L. T. Findley. 2005. El mar de Cortés. Pp: 3-10. En Hendrickx, M.E., Brusca, R.C., Findley, T.L. (eds). *A Distributional Checklist of the Macrofauna of the gulf of California, Mexico. Part I Invertebrates*. Arizona-Sonora Desert Museum, Tucson.
- Burt W. H. 1932. The fish-eating habits of *Pizonyx vivesi* (Menegaux). *Journal of Mammalogy* 13: 363-365.

- Carreño A. L. y J. Helenes. 2002. Geology and ages of the Islands. Pp: 14-40 en Case T. J., M. L. Cody y E. Ezcurra (eds.). A new island biogeography of the Sea of Cortés. Oxford University Press.
- Chisholm B. S., D. E. Nelson y H. P. Schwarcz. 1982. Stable-carbon isotope ratios as a measure of marine versus terrestrial protein in ancient diets. *Science* 216: 1131-1132.
- Clementz M. T y P. L. Koch. 2001. Differentiating aquatic mammal habitat and foraging ecology with stable isotopes in tooth enamel. *Oecologia* 129:461–472
- Cody M., R. Moran, J. Rebman y H. Thompson. 2002. Plants. Pp: 63-111 en Case T. J., M. L. Cody y E. Ezcurra (eds.). A new island biogeography of the sea of Cortés. Oxford University Press.
- CONANP. s.f. The islands and protected areas of the gulf of California, Mexico. 132 pp.
- Coyer J. 1984. The invertebrate assemblage associated with the giant kelp, *Macrocystis pyrifera*, at Santa Catalina island, California: a general description with emphasis on amphipods, copepods, mysids, and shrimps. *Fishery Bulletin* 82: 55-66.
- Crawford K., R. A McDonald y S. Berahop. 2008. Applications of stable isotope techniques to the ecology of mammals. *Mammal Review* 38: 87–107.
- Dalerum F. y A. Angerbjörn. 2005. Resolving temporal variation in vertebrate diets using naturally occurring stable isotopes. *Oecologia* 144: 647–658.
- De la Cruz J. 1997. Catálogo de los peces marinos de Baja California sur. Instituto Politécnico Nacional, México. 341 pp.
- DeNiro M. J., y S. Epstein. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta* 45: 341-351.

- Douglas R., O. Gonzalez-Yajimovich, J. Ledesma-Vazquez y F. Staines-Urias. 2007. Climate forcing, primary production and the distribution of Holocene biogenic sediments in the gulf of California. *Quaternary Science Reviews* 26: 115–129.
- Erskine P. D., D. M. Bergstrom, S. Schmidt, G. R. Stewart, C. E. Tweedie y J. D. Shaw. 1998. Subantarctic Macquarie Island – a model ecosystem for studying animal-derived nitrogen sources using ^{15}N natural abundance. *Oecologia* 117: 187-193.
- Ezcurra E. 2003. Conservation and Sustainable use of Natural Resources in Baja California. Pp: 279-306 en Nelson J. G., J. C. Day, L. M. Sportza, J. Loucky y C. Vásquez (eds). *Protected Areas and Regional Planning Imperative in North America*. University of Calgary Press, 429 pp.
- Fariña J. M., S. Salazar, K. P. Wallem, J. D. Witman y J. C. Ellis. 2003. Nutrient exchanges between marine and terrestrial ecosystems: the case of the Galapagos sea lion *Zalophus wollebaecki*. *Journal of Animal Ecology* 72: 873–887.
- FishBase. Guía de fotografías de otolitos on-line. <http://www.fishbase.org/search.php>.
Último acceso Enero 14 de 2010.
- Fitch J. E. 1967. The marine fish fauna, based primarily on otoliths, of a lower pelistocene deposit at San Pedro, California (LACMIP 332, San Pedro Sand). Los Angeles County Museum Contributions in Science No. 128: 1-23.
- Fitch J. E. 1972. Fish remains, primarily otoliths, from a coastal Indian midden SLO-2 at Diablo Cove, San Luis Obispo County, California. Pp: 99-120. En: Greenwood R.S. (ed.) 9000 years of prehistory at Diablo Canyon, San Luis Obispo County, California. San Luis Obispo County Archaeological Society Occasional Paper No. 7. San Luis Obispo, CA.

- Flores-Martínez J. J., F. Chris H., L. G. Herrera y M. Bernie. 2005. Genetic variation and population size of the endangered fishing bat, *Myotis vivesi*, in Isla Partida. Pp: 187-192 en Sánchez-Cordero V. y R. E. Medellín (eds) Contribuciones Mastozoológicas en Homenaje a Bernardo Villa, 706 pp. Instituto de Biología, UNAM; Instituto de Ecología, UNAM; CONABIO. México.
- Fry B. 2006. Stable Isotope Ecology. Springer. 308 pp.
- Gannes L. Z., D. M. O'Brien y C. Martínez del Río. 1997. Stable isotopes in animal ecology: assumptions, caveats, and a call for more laboratory experiments. Ecology 78: 1271-1276.
- García Fernández L. V. 2005. Isótopos estables en el estudio de transferencias de elementos en sistemas ave-suelo-planta. Pp: 271-290. En: Alcorlo, P., Redondo, R. & Toledo, J. (Eds.) Nuevas técnicas metodológicas aplicadas al estudio de los sistemas ambientales: los isótopos estables. Universidad Autónoma de Madrid.
- Gaxiola-Castro G., T. J. García-Cordova, J. E. Valdez-Holguín y M. Botello-Ruvalcaba. 1995. Spatial distribution of chlorophyll *a* and primary productivity in relation to winter physical structure in the gulf of California. Continental Shelf Research 15: 1043-1059
- Green-Ruiz Y. A y C. E. Cotero-Altamirano. 2009. Spawning biomass of the northern anchovy (*Engraulis mordax*) in the gulf of California during 1992. Ciencia Pesquera 17: 27-36.
- Guerrero R. M, J. Urbán R. y L. Rojas B. 2006. Las ballenas del golfo de California. Instituto Nacional de Ecología, 524 pp.

- Herrera L. G. y J. J. Flores-Martínez. 2001. Conserving fishing bats in the Sea of Cortez. *Bats* 19: 7-11.
- Herrera L. G., K. A. Hobson, L. Miron, N. Ramírez, G. Méndez y V. Sánchez-Cordero. 2001a. Sources of protein in two species of phytophagous bats in a seasonal dry forest: evidence from stable isotope analysis. *Journal of Mammalogy*. 82: 352-361.
- Herrera L. G., K. A. Hobson, A. Manzo A., D. Estrada B., V. Sánchez-Cordero y G. Méndez C. 2001b. The role of fruits and insects in the nutrition of frugivorous bats: evaluating the use of stable isotope models. *Biotropica* 33: 520-528.
- Herrera L.G., E. Gutierrez, K. A. Hobson, B. Altube, W. G. Díaz y V. Sánchez-Cordero. 2002. Sources of assimilated protein in five species of New World frugivorous bats. *Oecologia* 133: 280 – 287.
- Hildebrand C. V., S. D. Farley, C. D. Robbins, T. A. Hanley, K. Titus y C. Servheen. 1996. Use of stable isotopes to determine diets of living and extinct bears. *Canadian Journal of Zoology* 74: 2080–2088.
- Hirons A. C, D. M. Schell y B. P. Finney. 2001. Temporal records of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in North Pacific pinnipeds: inferences regarding environmental change and diet. *Oecologia* 129: 591–601.
- Hobson K. A. 1999. Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review. *Oecologia* 120: 314-326
- Hobson K. A. y F. Bairlein. 2003. Isotopic fractionation and turnover in captive Garden Warblers (*Sylvia borin*): implications for delineating dietary and migratory associations in wild passerines. *Canadian Journal of zoology* 81: 1630-1635.

- Hobson K. A. y R.W. Clark. 1992. Assessing avian diets using stable isotopes. II. Factors influencing diet-tissue fractionation. *Condor* 94: 189–197.
- Hobson K.A, J. F. Piatt y J. Pitocchelli. 1994. Using stable isotopes to determine seabird trophic relationships. *Journal of Animal Ecology* 63: 786-798
- Hutson A. M., S. P. Mickleburgh y P. A. Racey (comp.). (2001). Microchiropteran bats: global status survey and conservation action plan. IUCN/SSC Chiroptera Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. x + 258 pp. 2001.
- Jaume M. S. 2004. Hábitos alimentarios del rorcual común *Balaenoptera physalus* en el golfo de California mediante el uso de isótopos estables de nitrógeno y carbono. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional.
- Koch P.L., M.L. Fogel y N. Tuross. 1994. Tracing the diets of fossil animals using stable isotopes. Pp: 63-93 en Lajtha K. y R. H. Michener (eds). *Stable isotopes in Ecology and Environmental Science*. Blackwell, Oxford.
- Kozlov A. N. 1995. A review of the trophic role of mesopelagic fish of the family Myctophidae in the southern ocean ecosystem. *CCAMLR Science* 2: 71-77
- Kurle C. M. y G. A. J. Worthy. 2001. Stable isotope assessment of temporal and geographic differences in feeding ecology of northern fur seals (*Callorhinus ursinus*) and their prey. *Oecologia* 126: 254–265.
- Ladrón De Guevara P., B. E. Lavaniegos y G. Heckel. 2008. Fin whales (*Balaenoptera physalus*) foraging on daytime surface swarms of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* in Ballenas Channel, gulf of California, Mexico. *Journal of Mammalogy* 89:559–566.
- Lajtha K. y R. H. Michener. 1994. *Stable isotopes in Ecology and Environmental Science*. Blackwell, Oxford.

- Layman C. A., D. A. Arrington, C. G. Montaña y D. M. Post. 2007. Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure? *Ecology* 88: 42-48.
- Lluch-Cota S.E., E. A. Aragón-Noriega, F. Arreguín-Sánchez, D. Aurióles-Gamboa, J. J. Bautista-Romero, R. C. Brusca, R. Cervantes-Duarte, R. Cortés-Altamirano, P. Del-Monte-Luna, A. Esquivel-Herrera, G. Fernández, M. E. Hendrickx, S. Hernández-Vázquez, H. Herrera-Cervantes, M. Kahru, M. Lavín, D. Lluch-Belda, D. B. Lluch-Cota, J. López-Martínez, S. G. Marinone, M. O. Nevárez-Martínez, S. Ortega-García, E. Palacios-Castro, A. Parés-Sierra, G. Ponce-Díaz, M. Ramírez-Rodríguez, C. A. Salinas-Zavala, R. A. Schwartzlose, A. P. Sierra-Beltrán. 2007. The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenges. *Progress in Oceanography* 73: 1–26.
- Mascareñas-Osorio I., O. Aburto O. y E. F. Balart. 2003. Otolitos de peces de arrecife del Golf de California. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. 120 pp.
- Mauchline J. 1980. The biology of mysids and euphysiids. In: *Advances in Marine Biology*. (Blaxter J.H.S, F.S. Russell y M. Yonge. eds) Vol. 18. Pp: 1-444.
- Major H. L., I. L. Jones, M. R. Charette y A. W. Diamond. 2007. Variations in the diet of introduced Norway rats (*Rattus norvegicus*) inferred using stable isotope analysis. *Journal of Zoology* 271: 463-468.
- Martínez del Rio C. y B. O. Wolf. 2005. Mass-balance models for animal isotopic ecology. Pp: 141-174 en Matthias S. J. y T. Wang (eds) *Physiological and ecological adaptations to feeding in vertebrates*. Science Publishers, Enfield, New Hampshire.

- Maya J. A. 1968. The natural history of the fish-eating bat, *Pizonyx vivesi*. Ph.D. thesis. University of Arizona, Tucson. 106 pp.
- McAney C., C. Shiel, C. Sullivan y J. Fairley. 1991. The analysis of bat droppings. Occasional Publication No. 14: 1-48, The Mammal Society.
- Michener R. H. y D. M. Schell. 1994. Stable isotope ratios as tracers in marine aquatic food webs. Pp: 138-157 en Lajtha K. y R. H. Michener (eds). Stable isotopes in Ecology and Environmental Science. Blackwell, Oxford.
- Miron M. L. L., L. G. Herrera M., N. Ramírez P. y K. A. Hobson. 2006. Effect of diet quality on carbon and nitrogen turnover and isotopic discrimination in blood of a New World nectarivorous bat. *Journal of Experimental Biology* 209: 541-548.
- Moser H. G., E. H. Ahlstrom, D. Kramer y E. G. Stevens. 1974. Distribution and abundance of fish eggs and larvae in the gulf of California. *CalCOFI Report* 17:112-128.
- National Marine Fisheries Service. Guía de fotografías de otolitos on-line. http://www.pclab.noaa.gov/content/40_Fisheries_Biology/10_Otolith_Guide/Figures.htm. Último acceso Octubre 28 de 2009.
- Neogene Marine Biota of Tropical America. Guía de fotografías de otolitos on-line. <http://porites.geology.uiowa.edu./database/teleost/otoliths.htm>. Último acceso Octubre 30 de 2009.
- Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-059-2001. Protección ambiental. Especies nativas de México de flora y fauna silvestres, Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio, Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación.

- Ortman A. 1894. Reports on the dredging operations off the west coast of Central America to the Galápagos, to the west coast of Mexico, and the Gulf of California, in charge of Alexander Agassiz, by the U.S. Fish. Commission Steamer "Albatross" during 1891. XIV. The Pelagic Schizopoda, Bulletin of the Museum of Comparative Zoology, Harvard College 25 (1894), pp. 99–111.
- Paetzold A., C. J. Schubert y K. Tockner. 2005. Aquatic terrestrial linkages along a braided-river: riparian arthropods feeding on aquatic insects. *Ecosystems* 8: 748-759
- Pasztor C. J. 2008. The dynamic relationship between foraging gray whales (*Eschrichtius robustus*) and their mysid prey (Mysidae), along the southwest coast of Vancouver island, British Columbia. Tesis de Maestría, Departamento de Geografía, Universidad de Victoria, Victoria, British Columbia, Canadá. 107 pp.
- Podlesak D. W. y S. R. McWilliams. 2006. Metabolic routing of dietary nutrients in birds: effects of diet quality and macronutrient composition revealed using stable isotopes. *Physiological and Biochemical Zoology* 79: 534 – 549.
- Polis G. A y S. D. Hurd. 1996. Linking marine and terrestrial food webs: allochthonous input from the ocean supports high secondary productivity on small islands and coastal land communities. *The American Naturalist* 147: 396 - 423.
- Polis G. A., W. B. Anderson y R. D. Holt. 1997. Toward an integration of landscape and food web ecology: the dynamics of spatially subsidized food webs. *Annual Review and Ecological Systematics* 28: 289-316.
- Polis G. A., M. D. Rose, F. Sánchez-Piñero, P. T. Stapp y W. B. Anderson. 2002. Island Food Webs. Pp: 362-380 en Case T. J., M. L. Cody y E. Ezcurra (eds.). *A new island biogeography of the Sea of Cortés*. Oxford University Press.

- Polis G. A., F. Sánchez-Piñero, P. T. Stapp, W. B. Anderson y M. D. Rose. 2004. Trophic flows from water to land: marine input affects food webs of island and coastal ecosystems worldwide. Pp: 200–216 en: Polis, G. A., M. E. Power, and G. R. Huxel (eds). Food webs: at the landscape level. Univ Chicago Press. Chicago.
- Price, W.W. 2004. An annotated checklist for the order Mysida (Crustacea: Malacostraca: Peracarida) from the Pacific coasts of the Americas (Alaska to Chile). Pp. 53-77, in: M.E. Hendrickx (ed.). Contribuciones al Estudio de los Crustáceos del Pacífico Este 3 [Contributions to the Study of East Pacific Crustaceans 3]. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 245 pp.
- Reeder W. G. y K. S. Norris. 1954. Distribution, type locality, and habits of the fish-eating bat, *Pizonyx vivesi*. Journal of Mammalogy 35: 81-87.
- Reyes R. y J. L. Andrade. 2007. Los isótopos estables del hidrógeno y el oxígeno en los estudios ecofisiológicos de plantas. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 80: 19-28.
- Rivaton J. y P. Bourret. 1999. Les otolithes des poissons de l'Indo Pacifique. Documents Scientifiques et Techniques. II 2: 1-378.
- Rodríguez-Malagón M. A. 2009. Importancia de las fuentes marinas en la dieta de la rata introducida (*Rattus rattus*) en dos islas del golfo de California a través del análisis de isótopos estables. Tesis de Maestría en Ciencias. INECOL. Xalapa, México. 99 pp.
- Rodríguez-Varela A., A. Cruz-Gómez y M. A. Padilla-García. 2001. Composición, distribución y abundancia de larvas de la familia Myctophidae en la zona económica exclusiva del golfo de México y mar Caribe. Ciencia Pesquera 14: 97-104.

- Sánchez-Piñero F y G. A. Polis. 2000. Bottom-up dynamics of allochthonous input: direct and indirect effects of seabirds on islands. *Ecology* 81: 3117–3132.
- Sánchez-Velasco L., C. Ávalos-García, M. Rentarúa-Cano y B. Shirasago. 2004a. Fish larval abundance and distribution in the central gulf of California during strong environmental changes (1997-1998 El Niño and 1998-1999 La Niña). *Deep-Sea Research* 51: 711-722.
- Sánchez-Velasco L., S. P. A. Jiménez-Rosenberg, B. Shirasago y M. Obeso-Nieblas. 2004b. Distribution and abundance of fish larvae in Bahía de La Paz (gulf of California) and their relation to hydrographic variability during summer (1997–1998). *Deep-Sea Research* 51: 723–737.
- Santamaría-del-Angel E., S. Álvarez-Borrego, R. Millán-Núñez y F. Müller-Karger. 1999. Sobre el efecto débil de las surgencias de verano en la biomasa fitoplanctónica del golfo de California. *Revista Sociedad Mexicana Historia Natural* 49: 207-212.
- Santiago L. S., K. Silvera, J. L. Andrade y T. E. Dawson. 2005. El uso de isótopos estables en biología tropical. *Interciencia* 30: 536-542.
- Sassa C. 2009. Feeding ecology of *Symbolophorus californiensis* larvae (Teleostei: Myctophidae) in the southern transition region of the western North Pacific. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 89: 1-8.
- Schoeninger M. J. y M. J. DeNiro. 1984. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48: 625-539.
- SEMARNAP 2000. Programa de manejo Área de Protección de Flora y Fauna, Islas del Golfo de California. 262 pp.

- Smit A. J. 2001. Source identification in marine ecosystems. Pp: 219-245 en Unkovich M., J. Pate, A. McNeill y D. J. Gibas (eds) Stable isotopes techniques in the study of biological processes and functioning of ecosystems. Kluwer Academic Press.
- Stadelmann B., L. G. Herrera, J. Arroyo-Cabrales, J. J. Flores-Martínez, B. P. May y M. Ruedi. 2004. Molecular systematics of the fishing bat *Myotis (Pizonyx) vivesi*. Journal of Mammalogy 85: 133–139.
- Stapp P. y G. A. Polis. 2003. Marine resources subsidize insular rodent populations in the gulf of California, Mexico. Oecologia 134: 496 – 504.
- Stapp P., G. A. Polis y F. Sánchez-Piñero. 2000. Stable isotopes reveal strong marine and El Niño effects on island food webs. Nature 401: 467-469.
- Stewart G. R. 2001. What do $\delta^{15}\text{N}$ signatures tell us about nitrogen relations in natural ecosystems? Pp: 91-101 en Unkovich M, J. Pate, A. McNeill y D. J. Gibas (eds) Stable isotopes techniques in the study of biological processes and functioning of ecosystems. Kluwer Academic Press.
- Tieszen L. L, T. W. Boutton, K. G. Tesdahl y N. A. Slade. 1983. Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: Implications for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet. Oecologia 57: 32-37.
- UICN. 2003. Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. Ii + 33 pp.
- Velarde E., M. S. Tordesillas, L. Vieyra y R. Esquivel. 1994. Seabirds as indicators of important fish populations in the gulf of California. CalCOFI Rep. (35):137-143.

- Velarde E. 1999. Breeding biology of Heermann's gulls on isla Rasa, gulf of Baja California, Mexico. *Auk* 116: 513-519.
- Voigt C. C. y D. H. Kelm. 2006. Host preference of the common vampire bat (*Desmodus rotundus*; Chiroptera) assessed by stable isotopes. *Journal of Mammalogy*, 87:1-6.
- Villalobos J.L. 2000. Estudio monográfico de los crustáceos decápodos no braquiuros de la zona intermareal de las islas del golfo de California, México. Tesis de Maestría, Instituto de Biología, UNAM.
- Whitaker J. O, Jr. 1988. Food habits analysis of insectivorous bats. Pp; 171-190 en Kunz T. H. (ed) *Ecological and Behavioral methods for the study of bats*. Smithsonian Institution Press.
- Wolf B. O. y C. Martinez del Rio. 2000. Use of saguaro fruit by white-winged doves: isotopic evidence of a tight ecological association. *Oecologia* 124: 536-543.

ANEXO 1. Listado y número de individuos de peces, crustáceos e insectos colectados en isla Partida Norte durante las salidas de campo.

Grupo	Orden	Familia	especie	No. de individuos
Peces	Atheriniformes	Atherinopsidae	<i>Leuresthes sardina</i>	93
	Perciformes	Labrisomiade	<i>Malacoctenus hubbsi</i>	21
	Perciformes	Labridae	<i>Halichoeres sp.</i>	2
Crustáceos	Anfipoda			297
	Tanaidacea			5
	Cumacea			27
	Decapoda			64
	Isopoda			209
	Mysida			771
	Ostracodo			1
	Blatodea			1
	Coleoptera			406
			Anobiidae	161
			Canthariidae	8
			Carabidae	7
			Colydiidae	6
		Melandryidae	164	
		Mordellidae	3	
		Tenebrionidae	50	
		Morfo 10	1	
		Morfo 12	6	
Insectos	Collembola			713
	Diptera			1019
	Hemiptera			53
	Homoptera			9
	Hymenoptera			1742
	Lepidoptera			702
	Neuroptera			39
			Hemerobiidae	1
			Myrmeleontidae	38
			Tricoptera	14