



Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

Posgrado en Ciencias del Agua

Comparación trófica del pez león, *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758) con tres especies de peces arrecifales del Caribe mexicano: a través del uso de isótopos estables y contenido estomacal

Tesis que presenta

Alfrancis Teresa Arredondo Chávez

En opción al título de:

MAESTRO EN CIENCIAS

Ciencias del Agua

Director de Tesis:

José Adán Caballero Vázquez

Cancún Quintana Roo. Marzo de 2016

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN, A. C.
POSGRADO EN CIENCIAS DEL AGUA



RECONOCIMIENTO

Por medio de la presente, hago constar que el trabajo de tesis de **Alfrancis Teresa Arredondo Chávez** titulado “**Comparación trófica del pez león, *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758) con tres especies de peces arrecifales del Caribe mexicano: a través del uso de isótopos estables y contenido estomacal**” fue realizado en la Unidad de Ciencias del Agua, línea de Ecología y Dinámica de Ecosistemas Acuáticos, laboratorio de Biodiversidad de organismos acuáticos, del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., bajo la dirección del Dr. José Adán Caballero Vázquez, perteneciente al Programa de Posgrado en Ciencias del Agua del Centro.

Atentamente.

Dr. Manuel Martínez Estévez
Director de Docencia

Mérida, Yucatán, México, a 15 de marzo de 2016

Mérida, Yucatán, México; a 15 de Marzo del 2016.

DECLARACIÓN DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en la sección de Materiales y Métodos Experimentales, los Resultados y Discusión de este documento proviene de las actividades de experimentación realizadas durante el período que se me asignó para desarrollar mi trabajo de tesis, en las Unidades y Laboratorios del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., y que a razón de lo anterior y en contraprestación de los servicios educativos o de apoyo que me fueron brindados, dicha información, en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, le pertenece patrimonialmente a dicho Centro de Investigación. Por otra parte, en virtud de lo ya manifestado, reconozco que de igual manera los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que deriven o pudieran derivar de lo correspondiente a dicha información, le pertenecen patrimonialmente al Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., y en el mismo tenor, reconozco que si derivaren de este trabajo productos intelectuales o desarrollos tecnológicos, en lo especial, estos se registrarán en todo caso por lo dispuesto por la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, en el tenor de lo expuesto en la presente Declaración.



Alfrancis Teresa Arredondo Chávez

DEDICATORIA

A mi abuela Teresa Miranda Cruz, gracias por tu amor y cariño, por apoyarme y brindarme esas palabras de aliento, por consentirme y estar conmigo, aun estando lejos y sobre todo por confiar en mi y aunque ya no estés conmigo, siempre te llevo en mi corazón. Sigue siendo libre. Te amaré eternamente.

A mi familia por amarme tal y como soy, con mis mil y un defectos, por siempre recibirme con los brazos abiertos, por brindarme su apoyo, comprensión y cariño.

A mi querida madre Ma. Judith Chávez Miranda, por se una gran mujer, fuerte como un roble y aun así estar llena de amor para tus hijos. Gracias por ser tú. Te amo mami.

A mi papá, por su apoyo y cariño y por esos jalones de orejas que han sido necesarios en varias ocasiones. Gracias Ildelfonso Arredondo Jiménez.

A mis hermanos, Erisbeidy, Alfonso y Yenitzee, gracias por compartir conmigo todas esas aventuras, sin duda son los mejores hermanos que puedo tener. Los amo.

“Lo importante no es llegar al cielo, sino mantenerse en esas grandes alturas, con los pies firmes en la tierra”

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por haberme otorgado las facilidades para realizar este importante paso en mi vida profesional, académica y personal. De igual manera le agradezco al Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. por brindarme las herramientas necesarias para cumplir mis estudios de posgrado, con lo que mi formación académica se pudo concluir.

Al Dr. J. Adán caballero Vázquez, por aceptarme como su alumna y por su asesoría para la culminación de este trabajo.

Agradezco a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por su apoyo al proyecto CIC-2015 otorgado al Dr. Omar Domínguez Domínguez y a la Universidad de Quintana Roo por el apoyo otorgado al Dr. Carlos Alberto Niño Torres, sin los cuales el trabajo de Isótopos estables de la presente investigación no hubiera sido posible.

Al Dr. Omar Domínguez Domínguez, por su apoyo académico durante todos estos años. Por tratarme como una colega, por confiar en mi y por considerarme parte de su equipo de trabajo. Gracias por ser un buen asesor y sobre todo un buen amigo.

Al Dr. Carlos Alberto Niño Torres, por brindarme las herramientas necesarias para realizar una técnica que no conocía, por su paciencia y dedicación durante la estancia que realicé en el Laboratorio de Ecología y Ordenamiento Territorial.

Al Dr. Antonio Almanzán Becerril, por ser un buen guía académico, por tomarse el tiempo para ayudarme y orientarme en esta etapa llamada Maestría.

Al Dr. Jesús Alvarado Flores por tomarse el tiempo para la revisión de este trabajo.

A mis profesores durante el período de la maestría, por transmitirme nuevos conocimientos y recordame los olvidados, por su paciencia y tiempo. Gracias

Se dice que los amigos son la familia que elegimos, quiero agradecer a Juan Antonio, por compartir conmigo todas las aventuras submarinas, terrestres, académicas, terroríficas y divertidas, por su apoyo incondicional, incluso en mis días insoportables, gracias por ser mi hermano. A Paloma por las locuras, risas y fiestas compartidas. A Lucía, por ser una buena amiga y acompañarme este tiempo y brindarme un abrazo cuando fue serio. A

Rocío por su apoyo y cariño aún cuando le daba un poco de guerra y estaba de “molestosa”. A Paulina por brindarme su amistad desde el inicio, por sus consejos y por todas las charlas y tazas de café que bebimos juntas. A Nicolás Batchman por ser un buen amigo y abrirme las puertas de su casa. A Fayco y Abraham por su amistad desde un principio. A Paola, por ser mi piki y recibirme en su casa durante mi estancia en Chetumal, muchas gracias.

A Ariana y Ana, por siempre apoyarme y estar conmigo, aun estando lejos, se que siempre podré contar con ustedes. Gracias por todos estos años.

A mis buenos amigos los caribeños, Yareli, Pancho, Aurora y Marco, por todo su apoyo en las colectas en campo, fue un gusto compartir con ustedes esta experiencia submarina.

A Robert Vargas Mendoza, por sus palabras de aliento cuando las cosas se tornaron difíciles, por ser un buen amigo y acompañarme todos estos años.

A toda mi familia, por apoyarme y estar conmigo en todas las etapas de mi vida, muchísimas gracias.

A todos los que ayudaron de alguna u otra forma para que este proyecto culminara con éxito, MUCHAS GRACIAS.

El presente trabajo se realizó como parte de los proyectos:

* LH003 de CONABIO y CIC-UMSNH-2015 “Inventario ictiofaunístico en los humedales de Puerto Morelos, Quintana Roo”.

* Evaluación del efecto ecológico del pez león sobre las comunidades ícticas naturales del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos” No. PROCER-PNAPM02-03-2014

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I.....	3
1.1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.2. ANTECEDENTES.....	7
1.3. HIPÓTESIS.....	12
1.4. OBJETIVO GENERAL.....	12
1.4.1 Objetivos particulares.....	13
1.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	14
CAPÍTULO II. Determinación de la dieta de <i>Pterois volitans</i>, <i>Scorpaena plumieri</i>, <i>Cephalopholis cruentata</i> y <i>Lutjanus apodus</i> mediante el análisis de contenido estomacal.....	20
2.1 INTRODUCCIÓN.....	20
2.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
2.2.1 Descripción del área.....	21
2.2.2 Características bióticas.....	21
2.3 TRABAJO DE CAMPO.....	22
2.4 TRABAJO DE LABORATORIO.....	23
2.4.1 Análisis e identificación taxonómica del contenido estomacal.....	23
2.5.- RESULTADOS.....	28
2.5.1 Muestras obtenidas y análisis de contenido estomacal.....	28
2.5.1.1 Curva de acumulación.....	28
2.5.1.2 Índice de vacuidad.....	29
2.5.1.3 Índice de repleción gástrica.....	30
2.5.1.4 Espectro trófico general.....	30
2.5.1.4.1 Espectro trófico general de <i>Pterois volitans</i>	31
2.5.1.4.2 Espectro trófico general de <i>Cephalopholis cruentata</i>	31
2.5.1.4.3 Espectro trófico general de <i>Lutjanus apodus</i>	32
2.5.1.4.4 Espectro trófico general de <i>Scorpaena plumieri</i>	32
2.5.1.5 Índice de amplitud de nicho trófico.....	32
2.5.1.6 Índices y análisis cuantitativos.....	33
2.5.1.6.1 índice numérico.....	33
2.5.1.6.2 índice gravimétrico.....	35
2.5.1.6.3 índice de frecuencia de aparición.....	37
2.5.1.6.4 índice de importancia relativa.....	39
2.5.1.7 Espectro trófico por tallas de la especie <i>Pterois volitans</i>	42
2.5.1.7.1 Índice de amplitud de nicho trófico.....	43
2.6 DISCUSIÓN.....	46
2.6.1 <i>Pterois volitans</i>	46

2.6.2 <i>Cephalopholis cruentata</i>	49
2.6.3 <i>Lutjanus apodus</i>	52
2.6.4 <i>Scorpaena plumieri</i>	54
2.6.5 Comparación trófica de las cuatro especies	54
2.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
CAPÍTULO III. Comparación de las firmas isotópicas de los depredadores Pterois volitans, Scorpaena plumieri, Cephalopholis cruentata y Lutjanus apodus.	66
3.1 INTRODUCCIÓN	66
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	67
3.2.1 Obtención de muestras.....	67
3.2.2 Análisis de Isótopos estables $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$	68
3.2.3 Obtención de los valores isotópicos	68
3.2.4 Análisis estadísticos	69
3.3 RESULTADOS	70
3.3.1 Nivel Trófico.....	71
3.3.2 Posición trófica de los depredadores de estudio por categorías de tallas.	73
3.3.3 Comparación de los valores isotópicos de los depredadores y sus presas.....	75
3.4 DISCUSIÓN	78
3.4.1 Posición trófica.....	79
3.4.2 Comparación de los valores isotópicos de los depredadores y sus presas	81
3.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN.....	86
4.1 DISCUSIÓN GENERAL	86
4.2 CONCLUSIÓN GENERAL	89
4.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
5. ANEXOS	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio, Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, Quintana Roo. Sitios de captura de los organismos del estudio (puntos azules).....	22
Figura 2. Número de organismos colectados para las cuatro especies de estudio dentro del ANP Arrecife de Puerto Morelos	28
Figura 3. Curvas de acumulación de las especies de estudio con el número de presas en función del número de estómagos analizados con contenido estomacal.....	29
Figura 4. Índice de vacuidad (%F) de las especies <i>Scorpaena plumieri</i> , <i>Cephalopholis cruentata</i> , <i>Lutjanus apodus</i> y <i>Pterois volitans</i>	29
Figura 5. Índice de repleción gástrica para las especies de estudio.	30
Figura 6. Porcentaje de los grupos taxonómicos registrados en las dietas de las especies de estudio.....	31
Figura 7. Índice numérico por familia.	33
Figura 8. Índice numérico para los géneros más importantes para las especies de peces en el estudio.	34
Figura 9. Índice numérico de las presas más importantes.	35
Figura 10. Índice gravimétrico por familia para las especies de peces en el estudio.....	35
Figura 11. Índice gravimétrico por género para las especies de peces en el estudio.....	36
Figura 12. Índice gravimétrico por especie para las especies de peces en el estudio.....	37
Figura 13. Índice de frecuencia de aparición por familia para las especies de peces en el estudio.	38
Figura 14. Índice de frecuencia de aparición por género para las especies de peces del estudio.	38

Figura 15. Índice de frecuencia de aparición por especie para las especies de peces del estudio.	39
Figura 16. Índice de importancia relativa por familia para las especies de peces del estudio.	40
Figura 17. Índice de importancia relativa por género para las especies de peces del estudio.	40
Figura 18. Índice de importancia relativa por especie para las especies de peces del estudio.	41
Figura 19. Índice de similitud de Bray Curtis para las especies de peces del estudio.....	41
Figura 20. Biomasa de los grupos encontrados en la dieta de <i>P. volitans</i> por categorías de tallas.	42
Figura 21. Importancia de los grupos encontrados de acuerdo a los índices; Gravimétrico (%G), Numérico (%N), índice de Frecuencia de aparición (%F) e índice de importancia Relativa (%IIR).	43
Figura 22. Principales presas obtenidas de acuerdo el índice de importancia relativa por categorías de tallas para <i>P. volitans</i>	43
Figura 23. Índice de similitud de Bray Curtis para las categorías de tallas (Chicos, medianos y grandes) de <i>P. volitans</i>	44
Figura 24. Índice de similitud de Bray Curtis para las categorías de tallas de <i>P. volitans</i> y las especies de estudio; <i>P. volitans</i> chicos (PvCh), <i>P. volitans</i> medianos (PvM), <i>P. volitans</i> Grandes (PvG), <i>C. cruentata</i> (C.c) y <i>L. apodus</i> (L.a).	45
Figura 25. a) Gráfico de dispersión de la relación isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de <i>P. volitans</i> (Pv), <i>S. plumieri</i> (Sp), <i>L. apodus</i> (La) y <i>C. cruentata</i> (Cc). b) Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de los depredadores con sus medias \pm SE.	71
Figura 26. Promedio del Nivel trófico de los depredadores con sus medias (\pm SE)	

(Sp=3.34 ±0.24, Pv= 3.28 ± 0.21, Cc=3.39 ± 0.16 y La=3.6 ± 0.35). *P. volitans* (Pv), *S. plumieri* (Sp), *L. apodus* (La) y *C. cruentata* (Cc).72

Figura 27. Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para los depredadores. Las líneas discontinuas indican la amplitud total del nicho. Las líneas continuas indica el traslape de nicho de las especies. *P. volitans* (Pv), *S. plumieri* (Sp), *L. apodus* (La) y *C. cruentata* (Cc).72

Figura 28. Promedio del nivel trófico por categoría de tallas de las especies de estudio utilizando los valores del isótopo estable $\delta^{15}\text{N}$74

Figura 29. Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para los depredadores por clase de tallas. Las líneas discontinuas indican la amplitud total del nicho. Las líneas continuas indica el traslape de nicho de las especies.74

Figura 30. a) Señal isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ del manglar, y señales isotópicas de muestras de arrecife (NT).75

Figura 31. Modelo trófico isotópico para al área Natural Protegida Arrecife de Puerto Morelos. Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de los depredadores y familias de presas muestreadas de con sus medias ± SE.76

Figura 32. Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de los depredadores *P. volitans*, *C. cruentata*, *L. apodus* y *S. plumieri* y especies de presas muestreadas de con sus medias ± SE.77

Figura 33. a) Comparación trófica de acuerdo a la abundancia de las presas obtenidas en el análisis de contenido estomacal. b) Gráfico de dispersión de la relación isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de *P. volitans* (Pv), *S. plumieri* (Sp), *L. apodus* (La) y *C. cruentata* (Cc).....87

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Amplitud de nicho trófico para las tres especies de estudio.....	33
Cuadro 2. Amplitud de nicho trófico por categorías de tallas para <i>P. volitans</i>	44
Cuadro 3. Media de los valores isotópicos \pm SE por categorías de tallas de los depredadores de estudio. (PvP= <i>Pterois volitans</i> pequeños, PvJ= <i>P. volitans</i> juveniles, PvA = <i>P. volitans</i> adultos, CcJ = <i>Cephalopholis cruentata</i> juveniles, CcA = <i>C. cruentata</i> adultos, LaJ = <i>Lutjanus apodus</i> juveniles, LaA= <i>L. apodus</i> adultos, SpJ= <i>Scorpaena plumieri</i> juveniles y SpA = <i>S. plumieri</i> adultos).....	73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Sitios de colecta en el Área Natural Parque Nacional Protegida Arrecife de Puerto Morelos.....	95
Anexo 2. Espectro trófico general de las especies de estudio <i>Pterois volitans</i> , <i>Cephalopholis cruentata</i> y <i>Lutjanus apodus</i> expresado en valores porcentuales (%) de los métodos de Frecuencia de aparición (Fa), Numérico (%N), Gravimétrico (%P) e Índice de Importancia Relativa (%IIR).	96
Anexo 3. Presas identificadas en la revisión de contenido estomacal de <i>Scorpaena plumieri</i>	103
Anexo 4. Espectro trófico general para las categorías de tallas (Chicos (1- 15 cm), medianos (15.1-22 cm), Grandes) para <i>Pterois volitans</i> , expresado en valores porcentuales de los métodos de Frecuencia de aparición (Fa), Numérico (%N), Gravimétrico (%P) e Índice de Importancia Relativa (%IIR).....	104
Anexo 5. Número de individuos de las especies de estudio; numero y biomasa de las presas encontrados en los estómagos analizados de los depredadores de estudio.....	109

RESUMEN

El pez león (*Pterois volitans*) fue introducido en el Atlántico Occidental en la década de los ochenta. Desde su introducción ha protagonizado una de las invasiones biológicas más exitosas que se conozcan durante los últimos 20 años. Se considera un depredador eficaz, que puede poner en riesgo las poblaciones de especies nativas de importancia ecológica y económica, así como los procesos ecológicos en los ecosistemas invadidos. En la presente investigación se compara la dieta *P. volitans* con tres peces carnívoros nativos del Caribe mexicano (*Cephalopholis cruentata*, *Scorpaena plumieri* y *Lutjanus apodus*) a través de contenido estomacal e isótopos estables, en el Área Natural Protegida "Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos". Se colectaron un total de 430 organismos de las cuatro especies. Los depredadores *P. volitans* y *C. cruentata* presentaron un mayor porcentaje de biomasa de peces, mientras que *L. apodus* y *S. plumieri* de crustáceos. El grupo de los moluscos sólo estuvo presente en los estómagos de *S. plumieri*, siendo *Octopus* sp el género encontrado. De acuerdo al índice estandarizado de Levin *P. volitans* obtuvo un valor de $B_i = 0.74$, *C. cruentata* $B_i = .60$, mientras que *L. apodus* presentó el valor más bajo con $B_i = 0.57$. Las especies más importantes en la dieta de *P. volitans* fueron *Pleoticus robustus* (49.28%), *Periclimenes pedersoni* (23.84%), *Sparisoma atomarium* (8.79%). Para *C. cruentata* las especies *Gonodactylus curacaoensis* (28.06%), *Clepticus parrae* (15.78%), *Periclimenes rathbunae* (6.24%). *Pleoticus robustus* (83.32%), *Mitrax fórceps* (15.91%) y *Periclimenes rathbunae* (3.19%) para *L. apodus*. De acuerdo a los valores obtenidos para los isótopos estables de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$), *Pterois volitans*, *C. cruentata* y *L. apodus*, presentaron diferencias estadísticas, dado que las diferencias fueron menores a 1 ‰, biológicamente no representa una diferencia importante y se puede inferir que estas especies están compitiendo entre si. *S. plumieri*, no presentó diferencias con *P. volitans*, por lo cual la competencia entre ellos puede ser mayor a la de *C. cruentata* y *L. apodus*. Se encontró que *L. apodus* fue el depredador que presentó los valores más altos de $\delta^{15}\text{N}$, mientras que *Pterois volitans* tuvo los valores más empobrecidos en $\delta^{15}\text{N}$, aun así la diferencia fue menor a 1 ‰, por lo tanto, los cuatro depredadores ocuparon el nivel tres (consumidores secundarios) en la red trófica. Los cuatro depredadores presentaron un traslape de nicho isotópico y fueron clasificados como carnívoros generalistas, sin embargo, *P. volitans* presentó mayor porcentaje en el índice de importancia relativa en todas las especies presa compartidas.

ABSTRACT

The lion fish (*Pterois volitans*) was introduced in the Western Atlantic in the eighties achieving one of the most successful biological invasions ever known. It is considered as an effective predator that can negatively impact the native species populations, and therefore, the ecological process in the invaded ecosystems. In the current research, I compared the diet of *P. volitans* with three native carnivores of the Mexican Caribbean (*Cephalopholis cruentata*, *Scorpaena plumieri* and *Lutjanus apodus*) using stomach contents and stable isotopes in the Protected Natural Area "Arrecife de Puerto Morelos National Park". A total of 430 organisms of the four species were collected. In *Pterois volitans* and *C. cruentata* stomachs, fish represent the highest biomass percentage while *L. apodus* and *S. plumieri* had highest crustaceans biomass. Only one genus of mollusks were present in the stomach of *S. plumieri*. According to the standardized index of Levin, *P. volitans* obtained a value of $B_i = 0.74$, *C. cruentata* $B_i = .60$, while *L. apodus* presented the lowest value with $B_i = 0.57$. The most important species in the diet of *P. volitans* were *Pleoticus robustus* (49.28%), *Periclimenes pedersoni* (23.84%), and *Sparisoma atomarium* (8.79%). For *C. cruentata* the most important species were *Gonodactylus curacaoensis* (28.06%), *Clepticus parrae* (15.78%), and *Periclimenes rathbunae* (6.24%). Whereas the species *Pleoticus robustus* (83.32%), *Mitrax fórceps* (15.91%) and *Periclimenes rathbunae* (3.19%) were more important for *L. apodus*. *P. volitans*, *C. cruentata* and *L. apodus*, showed statistical differences according to the values obtained for the stable isotopes of carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$). However, it does not represent a difference biologically because the differences were lower than 1‰, and it is inferred that these species are competing with each other. *Scorpaena plumieri*, does not show statistical differences with *P. volitans*, suggesting that the competition between these two species could be stronger than between *C. cruentata* and *L. apodus*. *Lutjanus apodus* was the predator with the highest $\delta^{15}\text{N}$ values, while *Pterois volitans* had the lowest values of $\delta^{15}\text{N}$, even though the difference was lower than 1‰, therefore the four predators occupied level three (secondary consumers) in the trophic net. The four predators showed an overlap of isotopic niche and were classified as generalist carnivorous. However, *P. volitans* presented higher percentage in relative importance index in all the shared prey species.

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

La zona costera del Caribe mexicano presenta una gran diversidad de hábitats y ecosistemas, dentro de los que destacan los arrecifes de coral, que en su conjunto forma parte de la segunda barrera arrecifal más grande del mundo (Ardisson *et al.*, 2011) y la cual es parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM). En el estado de Quintana Roo los arrecifes coralinos cubren una extensión aproximada de 650 km, los cuales al albergar comunidades de flora y fauna, tienen alta importancia ecológica y económica por la diversidad de flora y fauna que albergan (Castellanos-Osorio y Suarez-Morales, 1997; Alva, 2007).

En el Caribe mexicano los arrecifes de coral presentan una estructura compleja y proporcionan un hábitat adecuado para una gran cantidad de especies. Se ha determinado que los hábitats con mayor complejidad estructural (tipo de sustrato, tamaño y forma de oquedades, grietas, rocas, cobertura algal, coralino, etc.), presentan una mayor diversidad y abundancia de especies que las que se registran en hábitats menos complejos (Bell *et al.*, 1991; Ángel y Ojeda, 2001; Lingo y Szedlmayer, 2006). Los cambios que ocurren en la abundancia y la composición de las especies son frecuentes en las comunidades de peces que comparten áreas biogeografías cercanas, esto como resultado de movimientos migratorios relacionados con el clima y cambios oceanográficos (Madrid *et al.*, 1997).

El flujo de especies dentro de los ecosistemas ocurre de manera natural desde hace millones de años, sin embargo hay especies que han sido introducidas a otros hábitats por el hombre y en algunos casos estas especies se adaptan y reproducen de manera exitosa al encontrar las condiciones necesarias para sobrevivir, a veces de forma tan acelerada que llegan a constituir una invasión biológica, estableciéndose en pocas generaciones, pueden llegar a provocar la reducción y extinción de especies nativas (Carvallo, 2009). Las especies invasoras son una amenaza importante para la diversidad biológica, en especial las especies depredadoras puede disminuir la diversidad de especies, trayendo como consecuencia la modificación de los ecosistemas (Paine 1966; Estes *et al.*, 1998 y Rilov, 2009). Los depredadores que invaden nuevas áreas son una de las causas más

importantes en la disminución y extinción de especies en todo el mundo (O'Farraell *et al.*, 2014) causando graves daños económicos (Strayer *et al.*, 2006 y Molnar *et al.*, 2008).

En ambientes marinos las especies son introducidas a nuevos hábitats de diferentes formas, llegando a establecerse y dispersarse rápidamente por la falta de barreras físicas o biológicas (Balcom *et al.*, 2007). Para conocer el impacto ecológico de las especies invasoras y depredadores se debe entender su interacción con otros miembros de la comunidad y cómo su llegada y establecimiento afecta a la estructura comunitaria (Muñoz *et al.*, 2011).

En los últimos años, una de las invasiones más estudiadas es la del pez león *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758), el cual ha protagonizado la invasión biológica más exitosa que se conozca en las aguas del Atlántico Occidental durante los últimos 20 años, estableciéndose en una gran parte del Atlántico Tropical incluyendo el Gran Caribe (Morris *et al.*, 2009 y Schofield, 2010). Esta especie cuya distribución natural comprende los océanos Índico y Pacífico, desde el oeste de Australia y el este de Malasia, hasta la Polinesia Francesa, incluyendo Japón, el sur de Corea, Nueva Zelandia y Micronesia (Chevalier *et al.*, 2008), fue introducida en aguas del Atlántico en la década de los 80's (Betancurt *et al.*, 2011), cuando registraron los primeros avistamientos aislados de esta especie. En el año 1985 se registró en playa Diana, Florida (Morris *et al.*, 2009), sin embargo, una de las teorías considera que la invasión comenzó cuando algunos ejemplares fueron liberados de forma accidental de acuarios destruidos después del huracán Andrew en 1992 en la Bahía de Biscayne (Cerino, 2010 y Lasso-Alcalá, 2010). En México, en el estado de Quintana Roo, el primer registro fue en el 2009 (Acuña, 2009), actualmente se encuentran en todas las áreas costeras del Caribe mexicano (Vasquez-Yeomans *et al.*, 2011) y Golfo de México (Aguilar-Perera y Tuz-Sulub, 2010). Se prevé que dicha invasión provocará un impacto ecológico en los ambientes marinos (Albins y Hixon, 2011), ya que se alimenta de una gran cantidad de especies nativas (Côté *et al.*, 2013) y su amplitud en la dieta es mucho más alta en las zonas invadidas que en su área de origen, posiblemente porque las especies nativas no lo reconozcan como un depredador (Cure *et al.*, 2012). Aunado a esto, compete con las especies carnívoras nativas por espacio y recursos, provocando una modificación en las tramas tróficas en los ecosistemas invadidos.

En los últimos años se ha analizado el impacto que ha tenido la sobrepoblación del pez león en las comunidades nativas de peces y crustáceos en los arrecifes del Caribe, dichos impactos incluyen la depredación y la competencia. La depredación en particular es preocupante debido a la reducción de peces de importancia ecológica, pudiendo ocasionar cambios importantes en las estructuras de los ecosistemas (Albins y Hixon, 2008; Molina, 2009 y Green *et al.* 2012). Por lo anterior, es fundamental conocer las especies que depreda, lo cual abonará al entendimiento de los posibles impactos que tendrá en los ecosistema arrecifales del Caribe mexicano; ya que conociendo su dieta es posible establecer las relaciones trofodinámicas con las otras especies (Santamaría, 1998).

La capacidad de *P. volitans* de competir por alimento y zonas de refugio es alarmante, ya que puede competir con los depredadores nativos como los pargos (Lutjanidae), los meros (Serranidae), y posiblemente, con otros escorpénidos como *Scorpaena plumieri* (Scorpaenidae) (O'Farraell *et al.*, 2014). Por lo tanto, representa un alto riesgo económico (Albin y Hixon 2011) ya que en estudios previos se ha determinado el consumo de especies de valor comercial (Muñoz *et al.*, 2011), aunado al hecho de que muchas especies nativas están fuertemente explotadas por la presión pesquera, agravando la problemática (Mumby *et al.* 2011).

El análisis de contenido estomacal permite conocer los hábitos alimentarios de las especie, así como las interacciones entre miembros de una comunidad determinada (Yasuda, 1960 y Caillient *et al.*, 1996). En los últimos años el análisis del contenido estomacal se ha usado en combinación con otros métodos, como el uso de isótopos estables. Los isótopos estables son átomos de un elemento con el mismo número atómico pero con diferente masa atómica que, a diferencia de los isótopos radioactivos, no presentan cambio a través del tiempo. El número de protones para cada isótopo es fijo, mientras el número de neutrones varía, lo que les confiere masa atómica diferente (Atkins y Beran, 1990).

La aplicación de los isótopos estables en los estudios ecológicos inicio en la década de los años 1950's, durante la investigación de la composición isotópica de carbono en material vegetal (Lajtha y Marshall, 1994). A partir de entonces, la técnica ha sido aplicada en una amplia variedad de investigaciones ecológicas, enfocados principalmente en

determinar cómo los organismos incorporan el carbono y el nitrógeno, y como fluyen éstos en los ecosistemas. Proveen además información de la posición trófica de presas y depredadores en los diagramas de tramas tróficas (Bolaño-Martinez, 2009).

Actualmente el uso de técnicas bioquímicas, como el análisis de las proporciones isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) en los tejidos, permite hacer inferencias acerca del alimento asimilado en un periodo de tiempo más largo, dependiendo de la tasa de recambio del tejido que se analice. Esta técnica se basa en el supuesto de que la composición isotópica en los tejidos de un organismo está dada por su dieta, gracias a la acumulación del isótopo estable más pesado (^{13}C y ^{15}N) y la excreción diferencial del más ligero (^{12}C y ^{14}N) por el organismo, lo que enriquece el tejido del consumidor con el isótopo pesado (De Niro y Epstein, 1981; Peterson y Fry, 1987 y Post, 2002). Las proporciones de $\delta^{15}\text{N}$ predicen por lo general el nivel trófico relativo (Michener y Schell, 1994 y Pinnegar *et al.*, 2002), esto debido a que existe un enriquecimiento significativo que fluctúa entre 2 y 5 ‰ para los valores de $\delta^{15}\text{N}$; mientras que los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en los tejidos de un consumidor refleja la composición del alimento asimilado, más un ligero incremento de 0-1 ‰. Esta señal generalmente es utilizada para distinguir las fuentes primarias de nutrición al nivel de los productores (Vander Zanden *et al.*, 1999).

En estudios realizados en las Bahamas y en la Bahía Onslow en Carolina del Norte utilizando isótopos estables, han confirmado que *P. volitans* tiene un rango trófico amplio que incluye invertebrados y peces (Muñoz *et al.* 2011; Layman y Algellier 2012), además de presentar un traslape de nicho con *L. apodus* (Layman y Algellier, 2012). Por lo anterior se esperaría que en el Caribe mexicano se presente también un traslape con los depredadores que muestren un nivel trófico similar.

Debido a lo anterior, se implementaron las técnicas de contenidos estomacales e isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) para realizar una comparación de la dieta de *P. volitans* con los depredadores nativos *Scorpaena plumieri*, *Cephalopholis cruentata* y *Lutjanus apodus*, lo que permitirá conocer el comportamiento alimentario de *P. volitans* en el Caribe mexicano, así como determinar si las cuatro especies de estudio presentan una amplitud de nicho trófico similar o si existe traslape dentro sus las dietas.

1.2. ANTECEDENTES

Pterois volitans presenta en el Atlántico características depredadoras y comportamientos no observados en su lugar de origen, su capacidad adaptativa le ha facilitado su exitosa propagación (Albins y Lyons 2012; Albins, 2013). Por otra parte, debido a que las poblaciones de los grandes meros (los depredadores potenciales más probables del pez león en el Caribe) *Epinephelus striatus*, *Mycteroperca tigris*, *M. bonaci*, *M. venenosa* y *M. interstitialis* (Maljkovic *et al.*, 2008 y Mumby *et al.*, 2011), han sido mermados debido entre otras cosas a la sobrepesca, el pez león podría tener un mayor rango de invasión al no contar con depredadores (Sadovy de Mitcheson *et al.*, 2013). Las poblaciones de este depredador están creciendo sin control, presentando biomasa estimada en los sitios de la zona de invasión, de entre 6 a 13 veces mayor a la encontrada en su área de distribución natural (Darling *et al.*, 2011 y Kulbicki *et al.*, 2012). Otra de las ventajas que han permitido el éxito de este depredador es que las especies nativas no lo consideran una amenaza, al ser nuevo en los ecosistemas del Atlántico occidental (Kindinger, 2015). Además, el patrón de coloración y forma del cuerpo, genera un camuflaje que le permite mimetizarse con su entorno, confundiendo con un alga a la deriva (Lasso-Alcalá, 2010). Su dieta fundamental está compuesta por peces juveniles, crustáceos y en una menor proporción moluscos. Su amplitud alimentaria representa un riesgo para la biodiversidad marina y otras actividades económicas enfocadas al turismo y la pesca (McCleery, 2011).

En los últimos años se han publicado trabajos en relación a la alimentación de *P. volitans* y sobre algunas de las posibles causas que han favorecido su rápida propagación. Por ejemplo, Fishelson (1997) realizó un estudio encontrando que la especie puede ampliar su estómago hasta 30 veces su tamaño, así mismo un pez león de entre 300 a 400 gramos puede ingerir aproximadamente 8.5 g de alimento por día y son capaces de ayunar durante períodos de más de 12 semanas, perdiendo sólo un 16.5% de su peso corporal.

Entre las especies depredadas por *P. volitans* se encuentran especies herbívoras; peces que se alimentan de las algas y mantienen libres de éstas a los arrecifes de coral. La eliminación de los herbívoros en los arrecifes coralinos causaría un crecimiento desproporcionado de algas (Durán y Claro, 2009) y la muerte de los corales y otros invertebrados, produciendo un desequilibrio en estos ecosistemas que se encuentran entre los más ricos y diversos del planeta (Albins y Hixon, 2008; Molina, 2009 y Green *et*

al. 2012). Albins y Hixon (2008) realizaron un estudio en las Bahamas, observando que un pez león es capaz de devorar 20 peces pequeños en 30 minutos. De las 38 especies censadas en los arrecifes de estudio, 23 sufrieron una reducción tras la presencia del pez león. Un solo pez león puede causar una reducción de 79% en las densidades de peces jóvenes en un arrecife. En el mismo estudio se analizaron 52 estómagos y se logró identificar 14 especies de peces, algunos de ellos fueron *Gramma loreto*, *Apogon aurolineatus*, *Haemulon plumierii*, *Stegastes partitus*, *Halichoeres bivittatus*, *H. garnoti*, *Thalassoma bifasciatum*, *Scarus iserti*, *Malacoctenus gilli* y juveniles de langosta *Panulirus argus*.

Morris y Akins (2009) analizaron la dieta del pez león en el Archipiélago de las Bahamas, encontrando que la dieta del pez león se compone principalmente de peces con 78% en volumen, 71.2% en número y 61.6% en frecuencia de aparición en los estómagos analizados. Los crustáceos representaron 14.4% en volumen, 28.5% en número y el 24.7% en frecuencia de aparición, mientras que los porcentajes tanto en peso, número y frecuencia de aparición de los moluscos sólo constituyeron una familia, por lo que sus porcentajes tanto en volumen, número y frecuencia de aparición fueron muy bajos. Reportaron cuatro familias de crustáceos y una de moluscos, así como 21 familias de peces teleósteos, siendo las familias Labridae, Pomacentridae, Gobiidae, Serranidae, Mullidae, Apogonidae, Blenniidae, Grammatidae y Atherinidae fueron las más representativas. Muñoz *et al.* (2011) realizaron un estudio de la ecología trófica de *P. volitans/miles* en el suroeste del Atlántico de Estados Unidos, mediante el análisis del contenido estomacal para la identificación de las presas, así como análisis de isótopos estables. Sus resultados lo ubicaron como un carnívoro generalista, cuyos componentes principales en su dieta fueron los peces (99% del contenido estomacal). Estos autores sugieren que las presas son consumidas en relación a su abundancia relativa local, más que a una preferencia por el depredador. De las 16 familias registradas, Scaridae, Serranidae, Haemulidae y Carangidae fueron las más importantes. Cure *et al.* (2012), realizaron la comparación alimenticia del pez león en el Pacífico (Filipinas y Guam) y el Caribe (Islas Caimán y Bahamas), y encontraron que en la zona invadida (Islas Caimán y Bahamas) consume una mayor cantidad de biomasa diaria que en Filipinas y Guam, al tener mayor disponibilidad de alimento, utilizan en menor proporción la estrategia de captura, que consiste en soplar a sus presas para desorientarlos y capturarlas con mayor

facilidad. Los autores encontraron que los periodos de caza son similares en el Atlántico y el Pacífico. La dieta en los arrecifes del Caribe es más amplia, alimentándose de más de seis familias (Apogonidae, Blenniidae, Gobiidae, Labridae, Pomacentridae y Scaridae), mientras que en el Pacífico sólo se alimenta de dos (Pomacentridae y Trichonotidae). Otra de las diferencias importantes que reportan los autores es que en el Pacífico no consumen peces de la familia Scaridae, mientras que en el Caribe ésta es una de las familias más depredadas, esto tiene una alta relevancia ecológica en los arrecifes por el control que ejercen los peces loro (Scaridae) sobre las algas.

Green *et al.* (2012) describieron la dieta del pez león en las Bahamas de 2008 a 2010, mediante censos visuales calcularon el tamaño y densidad de peces presa, y la abundancia de pez león en los arrecifes. Encontraron que las poblaciones del pez león aumentó de un 23% a un 40% de la biomasa total de los depredadores que viven en el área de las Bahamas, coincidiendo con la disminución de un 65% de la biomasa de 42 especies de peces nativas (censadas en el mismo estudio). Los autores mencionan que los cambios en abundancia de las especies nativas también pueden ser resultado de factores como la pesca, o el bajo reclutamiento de las larvas pelágicas debido a factores oceanográficos o enfermedades.

Valdez-Moreno *et al.* (2012) utilizaron técnicas moleculares (código de barras) para la identificación de las presas presentes en organismos colectados en Cozumel, Xcalak y Banco Chinchorro (Caribe mexicano) y encontraron que de los 157 estómagos analizados, 144 presentaron alimento. Identificaron 34 especies de peces, repartidas en 14 familias y 22 géneros. Las familias con mayor número de especies fueron Gobiidae y Apogonidae, seguido de Scaridae, Labrisomidae, Labridae, Pomacentridae, Tripterygiidae, Serranidae, Holocentridae, Grammatidae, Haemulidae, Scorpaenidae, y Monacanthidae. Las familias de peces con alto porcentaje numérico fueron Labridae, que comprende *Halichoeres garnoti* y *Thalassoma bifasciatum*; Gobiidae, que comprende *Coryphopterus venezuelae*, *C. tortugae*, *Lythrypnus*, *C. eilodon*, *C. hyalinus*, *C. thrix* y *Priolepis hipoliti*; Scorpaenidae compuesto por una sola especie *P. volitans*; lo que sugiere canibalismo y Scaridae que comprende *Sparisoma aurofrenatum*, *Scarus iseri*, *S. viride* y *S. taeniopterus*. También se registraron tres órdenes de crustáceos, en el orden Decapoda registraron tres familias y dos géneros, el género *Synalpheus* perteneciente a la familia Alpheidae y *Thor* que pertenece a la familia Hyppolytidae, además de la familia

Palaemonidae. En el orden Stomatopoda registraron dos familias Pseudosquillidae (género *Pseudosquilla*) y Gonodactylidae que pertenece a la familia. En el orden Euphausiacea registraron a *Euphausia americana*.

Quijano-Puerto *et al.* (2012) en un estudio en el Parque Nacional Arrecife Alacranes del Banco de Campeche, encontraron que la dieta del pez león está compuesta principalmente por 79% de peces y 21% de crustáceos peneidos. Siendo la familia Pomacentridae la de mayor importancia para la dieta. De las 19 especies de peces que registraron, *Malacoctenus triangulatus* de la familia Labrisomidae, *Halichoeres bivittatus* de la familia labridae y *Stegastes leuscostictus* de la familia Pomacentridae fueron las encontraron con mayor frecuencia en los estómagos.

Arredondo-Chávez (2012) determinó la composición de la dieta de *P. volitans* en la Bahía de Xpu-Ha, reportando 23 familias, 38 géneros y 46 especies; 25 especies corresponden a peces y 21 a crustáceos. Las familias de peces más representativas fueron: Gobiidae, Pomacentridae y Scaridae, seguidos de Labridae, Mullidae, Serranidae, Monacanthidae, Labrisomidae, Apogonidae y Aulostomidae, así como 11 familias de crustáceos, siendo las más importantes Rynchocinetidae, Penaeidae y Palaemonidae. También encontró dos familias de moluscos, Columbelloidae y Muricidae, que fueron consideradas como accidentales. Las especies que encontró mejor representadas en el índice de importancia relativa fueron *Rynchocinetes rigens*, perteneciente a la familia Rynchocinetidae, *Coryphopterus personatus/hyalinus* el cual pertenece a la familia Gobiidae y *Scarus iserti* conocidos como peces loros.

Coté *et al.* (2013), utilizando código de barras y taxonomía tradicional compararon la eficiencia de identificación de presas. Identificaron 17 especies de manera taxonómica y 20 especies con técnicas moleculares. Encontraron diferencias estadísticas en el valor de importancia, utilizando métodos moleculares con la taxonomía tradicional, las especies que se reportan como las más importantes en el método visual no lo son con el molecular.

Sánchez-Jiménez (2013), determinó los hábitos alimentarios de *P. volitans* en la zona centro del Caribe mexicano, determinando también la especie como depredador generalista. Reportó 26 especies presa, 21 correspondientes a peces y cinco a

crustáceos, las especies con mayor importancia en su estudio fueron: *Rhynchocinetes rigens* (84.70%), *Clepticus parrae* (10.58%) y *Pleoticus robustus* (1.54%).

Ávila-Morales (2014) en un trabajo en Isla Contoy obtuvo mediante la revisión de contenido estomacal un total de 38 artículos alimentarios, representados por 20 Familias, 22 géneros y ocho especies, el 55% correspondieron a crustáceos, el 40% a peces y el 5% a moluscos, siendo *Periclimenes longicaudatus* (11.18%) y *Haemulon flavolineatum* (10.56%) las presas con mayor índice de importancia relativa del total de la dieta.

Villaseñor-Derbez y Herrera-Pérez (2014) en un estudio en Puerto Aventura Quintana Roo, donde reportan un cambio en la dieta del pez león según su desarrollo ontogénico, encuentran que en estadios juveniles se alimentan principalmente de crustáceos y los adultos de peces teleósteos. Registraron un total de 14 especies (12 de peces y dos de crustáceos) y cuatro géneros (dos de peces y dos de crustáceos). *Stegastes partitus* fue la especie con mayor importancia en peso, mientras que el género *Lysmata* lo fue en número.

Torres-Chávez (2014) estudio la dieta del pez león en la zona Sur de Quintana Roo, en las áreas de Banco Chinchorro y Xcalak, encontró un cambios en la dieta de acuerdo a su desarrollo ontogenético. La autora, registró un nivel trófico para el pez león de 4.2 posicionando al pez león como un carnívoro generalista, capaz de consumir un gran número de especies. Las presas con mayor importancia en Banco Chinchorro fueron *Thalassoma bifasciatum*, *Pleoticus robustus* y *Stegastes partitus*, mientras que para Xcalak fueron *Pleoticus robustus*, *Rhynchocinetes rigens*, *Thalassoma bifasciatum* y *Scarus iserti*.

Respecto a antecedentes con estudios con método combinados de contenido estomacal e isótopos estables han confirmado que el pez león tiene un nicho trófico amplio. Muñoz *et al.* (2011) estudiaron la ecología trófica de *P. volitans* y *P. miles* en el suroeste del Atlántico de Estados Unidos, utilizaron el contenido estomacal para la identificación de las presas, y análisis de isótopos estables, identificándolo como un carnívoro generalista, cuyo principal componente en su dieta son los peces (99% del contenido estomacal). Los autores sugieren que las presas son consumidas en relación a su abundancia relativa local, más que a una preferencia por el depredador. Registraron una ligera diferencia en la

composición de la dieta del depredador según su desarrollo ontogenético. De las 16 familias registradas para la zona norte de Carolina Scaridae, Serranidae, Haemulidae y Carangidae fueron las más importantes. Los valores reportados para $\delta^{15}\text{N}$ van desde 9.61 a 12.07‰, con una media global de $11.00 \pm 0.04\%$. A pesar de que los organismos de tallas mayores se alimentan principalmente de peces, estos se mantuvieron en el mismo nivel trófico que los de tallas pequeñas. Para el $\delta^{13}\text{C}$ encontró poca variación, de -16.0 a -17.2% con una media global de $-16.60 \pm 0.02\%$. El rango de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ del pez león que se obtuvieron para este estudio fueron similares a los reportados en la literatura para especies generalistas oportunistas (-15.8 a -18.0%).

Layman y Allgeier (2012) en las Bahamas realizaron una comparación de dietas de *P. volitans/miles* con dos especies de pargos (*Lutjanus apodus* y *Lutjanus griseus*) utilizando análisis de contenidos estomacales e isótopos estables. Encontraron que *P. volitans* se alimenta principalmente de peces, mientras que *Lutjanus apodus* de pequeños crustáceos. Los valores que reportan de $\delta^{13}\text{C}$ para *P. volitans/miles* son de $-11.8 \pm 0.65\%$, para *Lutjanus griseus* $-10.8 \pm 0.49\%$ y de $-11.4 \pm 0.99\%$ para *Lutjanus apodus*. Para el $\delta^{15}\text{N}$ *P. volitans/miles* presentó $9.1 \pm 0.38\%$, *Lutjanus griseus*: $8.8 \pm 0.39\%$, y *Lutjanus apodus* $9.3 \pm 0.46\%$.

1.3. HIPÓTESIS

El pez león *Pterois volitans*, y las especies nativas *Scorpaena plumieri*, *Cephalopholis cruentata* y *Lutjanus apodus*, son especies carnívoras y dado que comparten el mismo hábitat, se espera que consuman las mismas especies de presas y que presenten un traslape de nicho trófico.

1.4. OBJETIVO GENERAL

Determinar y comparar la estructura trófica de *Pterois volitans* con tres especies de peces arrecifales (*Scorpaena plumieri*, *Cephalopholis cruentata* y *Lutjanus apodus*) a través del uso de isótopos estables y contenido estomacal en el Área Natural Protegida “Arrecife de Puerto Morelos”.

1.4.1 Objetivos particulares

- Determinar la dieta de *Pterois volitans*, *Scorpaena plumieri*, *Cephalopholis cruentata* y *Lutjanus apodus* mediante la revisión del contenido estomacal.
- Evaluar la preferencia de los grupos tróficos de los cuales se alimentan las cuatro especies, mediante el análisis cualitativo y cuantitativo de las presas.
- Evaluar las diferencias tróficas en las especies a analizar, considerando los diferentes grupos de tallas.
- Comparar los valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) encontrados en *Pterois volitans*, *Scorpaena plumieri*, *Cephalopholis cruentata* y *Lutjanus apodus* con sus posibles presas.
- Analizar si la amplitud trófica con análisis de isótopos estables y análisis de contenido estomacal de *Pterois volitans*, *Scorpaena plumieri*, *Cephalopholis cruentata* y *Lutjanus apodus*.

1.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, R. 2009. Alerta: el pez león (*Pterois volitans*) arriba al Caribe Mexicano. *Cirujano General*. 31 (4): 1-2 p.
- Aguilar-Perera, A. y A. Tuz-Sulub. 2010. Non-native, invasive red lionfish (*Pterois volitans* (Linnaeus, 1758): Scorpaenidae), is first recorded in the southern Gulf of Mexico, off the northern Yucatan Peninsula, Mexico. *Aquatic Invasions* 5 (Supplement 1). S9–S12, doi: 10.3391/ai.2010.5.S1.003.
- Albins, M.A. y A. M Hixon. 2011. Worst case scenario: potential long-term effects of invasive predatory lionfish (*Pterois volitans*) on Atlantic and Caribbean coral-reef communities. *Environmental Biology of Fish*. DOI 10.1007.
- Ángel, A. y P.F. Ojeda. 2001. Structure and trophic organization of subtidal fishsemblages on the Northern Chilean Coast: the Effect of Habitat Complexity. *Marine Ecology Progress Series*. 217: 81-91 p.
- Arredondo-Chávez, A.T. 2012. Hábitos alimentarios de la especie introducida *Pterois volitans* (Scorpaeniformes) en la región de Xpu-ha, Caribe Mexicano. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 80 p.
- Atkins, P.W. y J.A. Beran. 1990. *General Chemistry*. 2^a. Scientific American Books. New York. 992 p.
- Ávila-Morales, O.G. 2014. Hábitos alimentarios de la especie introducida *Pterois volitans* (Lineaus 1758), en el Parque Nacional Isla Contoy, zona Norte del Caribe Mexicano. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 69 p.
- Balcom, N., K Heinonen y A. Fournier 2007. Long Island Sound Interstate aquatic invasive species management plan. U.S: Environmental Protection Agency. 67p.
- Bell, S., S., E.D. McCo y H.R. Mushinsky. 1991. *Habitat Structure: The Physical Arrangement of Objects in Space*. Chapman and Hall, London. New York Tokyo Melbourne Madras. 427-

430 p.

- Betancur, R.R., A. Hines, P.A. Acero, G. Ortí, A. E. Wilbur, *et al.* 2011. Reconstructing the lionfish invasion: insights into Greater Caribbean biogeography. *Journal of Biogeography*. 38: 1281–1293 p.
- Bolaño-Martínez, N. 2009. Estructura trófica de las comunidades de peces de arroyos subtropicales y templados: implicancias de la dieta, el tamaño corporal y la temperatura. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. La Paz Baja California Sur. 125 p.
- Calliet, G.M., M.S. Love y A.W. Ebeling. 1996. *Fishes. A field and laboratory manual on their structure, identification, and natural history.* Waveland Press. EUA. 194 p.
- Carvalho, G.O. 2009. Especies exóticas e invasiones biológicas, *Ciencia Ahora*, No.23, vol. 12-16-21 p.
- Cerino, D.S. 2010. Bioenergetics and Trophic Impacts of Invasive Indo-Pacific Lionfish. Tesis de Maestría. The Faculty of the Department of Biology. East Carolina University. 61 pp.
- Chevalier, P., E.D. Gutiérrez, S. Ibarzabal, V. Romero, J. Isla. Calderín y E. Hernández. 2008. Primer registro de *Pterois volitans* (Pisces: Scorpaenidae) para aguas cubanas. *Solenodon*. 7: 37-40 p.
- Côté, I.M., S.J. Green, J.A. Morris, J.L. Jr. Akins, D. Steinke. 2013. Diet richness of invasive Indo-Pacific lionfish revealed by DNA barcoding. *Marine Ecology Progress series*, 472:249–256.
- Cure, K.C.E., T.L. Benkwitt Kindinger, E.A. Pickering, T.J. Pusack, J.L. McIlwain, M.A. Hixon. 2012. Comparative behavior of red lionfish *Pterois volitans* on native Pacific versus invaded Atlantic coral reefs. *Marine Ecology Progress series*. 467:181–192.
- Darling, E.S., S.J. Green, J.K. O'Leary, I.M. Côté. 2011. Indo-Pacific lionfish are larger and more abundant on invaded reefs: a comparison of Kenyan and Bahamian lionfish populations. *Biological Invasions*. 13:2045–2051.
- De Niro, M.J. y S. Epstein. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 45: 341-351.

- Durán, A. y R. Claro. 2009. Actividad alimentaria de los peces herbívoros y su impacto en arrecifes con diferente nivel de degradación antrópica. *Revista de Biología Tropical*. 57(3), 687-697.
- Estes, J.A., M.T. Tinker, T. M. Williams, D. F. Doak. 1998. Killer whale predation on sea otters linking oceanic and nearshore ecosystems. *Science*. 282:473–476.
- Fishelson, L. 1997. Experiments and observations on food consumption, growth and starvation in *Dendrochirus brachypterus* and *Pterois volitans* (Pteroinae, Scorpaenidae). *Environmental Biology of Fishes*. 50:391–403 p.
- Green, S.J., J.L. Akins, A. Maljkovi , I. M. Côté. 2012. Invasive lionfish drive Atlantic coral reef fish declines. *PLoS ONE*. 7(3): e32596. doi:10.1371/journal.pone.0032596.
- Kindinger, T.L. 2015. Behavioral response of native Atlantic territorial three spot damselfish (*Stegastes planifrons*) toward invasive Pacific red lionfish (*Pterois volitans*). *Environmental Biology of Fishes*. 98:487-498 p.
- Kulbicki, M.J. Beets, P. Chabanet, K. Cure et al. 2012. Distributions of Indo-Pacific lionfishes *Pterois spp.* in their native ranges: implications for the Atlantic invasion. *Marine Ecology Progress Series*. 446:189–205.
- Lajtha, K. y J.D. Marshall. 1994. Sources of variation in the stable isotopic composition of plants. 1-21 p. En: Lajtha K. y R. Michener (eds.). 1994. *Stable isotopes in Ecology and Environmental Science*. xi-xix p. Blackwell Scientific Publications, London. 138-157 p.
- Lasso, A.O. y J. Posada. 2010. Presence of the invasive red lionfish, *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758), on the coast of Venezuela, southeastern. Caribbean Sea. *Aquatic Invasions*. 5: S53-S59.
- Layman C, Allgeier J (2012) Characterizing trophic ecology of generalist consumers: a case study of the invasive lionfish in the Bahamas. *Marine Ecology Progress*. 448: 131–141.
- Lingo, E.M. y S.T. Szendlmayer. 2006. The influence of habitat complexity on reef fish communities in the northeastern Gulf of Mexico. *Environmental Biology of Fishes*. 76: 71-80 p.

- Madrid, J., Sánchez, P. y A.A. Ruiz. 1997. Diversity and abundance of a tropical fishery on the Pacific shelf of Michoacán México. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 45: 485-495 p.
- Maljkovic, A., T.E van Leeuwen, S.N. Cove. 2008. Predation on the invasive red lionfish, *Pterois volitans* (Pisces: Scorpaenidae), by native groupers in the Bahamas. *Coral Reefs*. 27:501.
- McCleery, Ch. 2011. A comparative study of the feeding ecology of invasive lionfish (*Pterois volitans*) in the Caribbean. *Physics Journal of Marine Sciences*. 9: 38-43.
- Michener, R.H. y D.M. Schell. 1994. Stable isotope ratios as tracers in marine aquatic food webs. pp. 138–157. En: Lajtha, K., Michener, R.H. (Eds.), *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 138-157 Pp.
- Molina, H. 2009. El pez león del Indo-Pacífico: Nueva especie invasora de Costa Rica. *Biocenosis*. 22: 1-2 p.
- Molnar, J.L., R.L. Gamboa, C. Revenga, M.D. Spalding. 2008. Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Frontier Ecology Environmental*, 6:485–492 p.
- Morris, J.A. y J.L. Akins. 2009. Feeding ecology of invasive lionfish (*Pterois volitans*) in the Bahamian archipelago. *Environmental Biology of Fishes*. 86: 389-398.
- Morris, J.A., J.L. Akins, A. Barse, D. Cerino, D. W. Freshwater S.J. Green R.C. Muñoz C. Paris y P.E. Whitfield. 2009. Biology and Ecology of the Invasive Lionfishes, *Pterois miles* y *Pterois volitans*. *Environmental Biology of Fishes*. 61: 409-414.
- Mumby, P.J., A.R. Harborne, D.R. Brumbaugh. 2011. Grouper as a natural biocontrol of invasive lionfish. *PLoS ONE* 6: e21510. doi:10.1371/journal.pone.0075781.
- Muñoz, R.C., C.A. Currin, P.E. Whitfield. 2011. Diet of invasive lionfish on hard bottom reefs of the Southeast USA: insights from stomach contents and stable isotopes. *Marine Ecology Progress Series*. 432: 181-193.
- O'Farrell, S., S., R.A.R. Bearhop, C.P. McGill, D.R Dahlgren y P. J. Brumbaugh. 2014. Habitat and body size effects on the isotopic niche space of invasive lionfish and endangered Nassau grouper. *Ecosphere*. 5(10):123. <http://dx.doi.org/10.1890/ES14-00126.1>

- Paine, R. T. 1966. Food web complexity and species diversity. *American Naturalist*. 100:65-75 p.
- Peterson, B.J. y B. Fry. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology and Systematic*. 18: 293–320 p.
- Pinnegar, J.K., S.O. Jennings, M. O'Brien y V.C. Polunin. 2002. Long-term changes in the trophic level of the Celtic Sea fish community and fish market price distribution. *Journal of Applied Ecology*. 39: 377-390 p.
- Post, D.M. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions. *Ecology*, 83: 703–718 p.
- Quijano-Puerto, L., I. Perera-Chan, A. Aguilar-Perera y A.T. Sulub. 2012. Dieta del pez león rojo, *Pterois volitans*, en el parque nacional arrecife alacranes, sureste del golfo de México. Santa Marta Colombia. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. 5-9 p.
- Sadovy de Mitcheson, Y., M.T. Craig, A.A. Bertoni, K.E. Carpenter *et al.* 2013. Fishing groupers towards extinction: a global assessment of threats and extinction risks in a billion dollar fishery. *Fish and Fisheries*. 14:119–136 p.
- Sánchez-Jiménez, J.A. 2013. Hábitos alimentarios de la especie introducida *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758) en sitios de Gran Bahía Príncipe y Akumal, zona centro del Caribe Mexicano. Tesis de Licenciatura.. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 75 p.
- Santamaría, M.A. 1998. Hábitos alimenticios y ciclo reproductivo del huachinango, *Lutjanus peru*, (Nichols y Murphy, 1922) pisces: lutjanidae en Guerrero, México, Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional. La Paz Baja California, 64 p.
- Schofield, P.J. 2010. Update on geographic spread of invasive lionfishes (*Pterois volitans* [Linnaeus, 1758] and *P. miles* [Bennett, 1828]) in the Western North Atlantic Ocean, Caribbean Sea and Gulf of Mexico. *Aquatic Invasions*. 5 (1): 117-122 p.
- Shuter, N.P. Lester y J.B. Rasmussen. 1999. Patterns of food chain length in lakes: A stable isotope study. *American Society of Limnology and Oceanography*. 154: 406–416 p.
- Strayer, D.L., V.T. Eviner, J.M. Jeschke, M.L. Pace. 2006. Understanding the long-term effects

of species invasions. *Trends Ecology Evolution*. 21:645–651 p.

Torres-Chávez, P. 2014 Hábitos alimentarios de la especie Introducida *Pterois volitans* (Linneaus 1758), en las regiones de Banco Chinchorro y X'calak, Áreas Naturales Protegidas del Caribe Mexicano. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 67 p.

Valdez-Moreno, M., C. Quintal-Lizama, R. Gómez-Lozano, M.C. García-Rivas. 2012. Monitoring an Alien Invasion: DNA Barcoding and the Identification of Lionfish and Their Prey on Coral Reefs of the Mexican Caribbean. *PLoS ONE*. 7(6): e36636. doi:10.1371/journal.pone.0036636.

Vander Zanden, M.J., B.J. Shuter, N.P. Lester y J.B. Rasmussen. 1999. Patterns of food chain length in lakes: A stable isotope study. *American Society of Limnology and Oceanography*. 154: 406–416 p.

Vásquez-Yeomans, L. Carillo, S. Morales, E. Malca, S.T. Morris Jr., T Schultz, J.T. Lamkin. 2011. First larval record of *Pterois volitans* (Pisces: Scorpanidae) collected from the ichthyoplankton in the Atlantic. *Biological invasions*. 13, 12, 2635-2640 p.

Villaseñor-Derbez, J.C. y R. Herrera-Pérez. 2014. Brief description of prey selectivity and ontogenetic changes in the diet of the invasive lionfish *Pterois volitans* (Actinopterygii, Scorpaenidae) in the Mexican Caribbean. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*. 9(2): 131-135 p.

Yasuda, F. 1960. The types of food habitats of fishes assured by stomach contents examinations. *Japanese Society of Scientific Fisheries*. 6 (7): 10 p.

CAPÍTULO II. Determinación de la dieta de *Pterois volitans*, *Scorpaena plumieri*, *Cephalopholis cruentata* y *Lutjanus apodus* mediante el análisis de contenido estomacal.

2.1 INTRODUCCIÓN

Conocer los hábitos alimenticios de una especie es de gran importancia ya que nos permite entender las interacciones entre los miembros de una comunidad. Además nos permite identificar las relaciones entre depredador-presa y comprender las relaciones tróficas que ocurren dentro de un ecosistema (Yasuda, 1960 y Caillient *et al.*, 1996). Las presas encontradas están relacionadas con la morfología y del comportamiento del pez, así como de la composición y cantidad de especies disponibles en el medio y la zona que habitan (Pillay, 1952).

Las especies exóticas e invasoras son una de las causas más importantes que ocasionan alteraciones en los ecosistemas, ejemplo de ello es la invasión de *P. volitans* en aguas del Atlántico. En los últimos años la introducción de esta especie ha causado un fuerte impacto en las comunidades locales, ya que al ser una especie depredadora, puede llegar a reducir la biodiversidad en los ecosistemas, modificando o empobreciendo las relaciones existentes entre los organismos, por lo que los trabajos enfocados en determinar el impacto que el pez león ha tenido en las comunidades nativas de los arrecifes del Caribe incluyendo la depredación y la competencia son fundamentales (Green *et al.* 2012; Côté *et al.*, 2013). Conocer la dieta de *P. volitans*, permitirá evaluar las relaciones dinámicas con el medio (Santamaría, 1998) y de esta forma contar con información pertinente en términos de mitigación y prevención de impactos. *Pterois volitans* tiene alta capacidad de adaptación a zonas de refugio y de alimentación de nuevas presas (Lönnstedt y McCormick, 2013) y puede ser un competidor potencial contra los depredadores nativos como los pargos (Lutjanidae), los meros (Serranidae), y peces piedra (Scorpaenidae), pudiendo llegar incluso a desplazarlos (Albin y Hixon 2011).

Pterois volitans tiene amplio rango trófico que incluye invertebrados y peces (Muñoz *et al.* 2011 y Layman y Algellier 2012), y se ha determinado (Bahamas) que presenta un traslape de nicho con los depredadores nativos (Layman y Algellier, 2012). En el Caribe mexicano no se conocen estudios que permitan determinar si existe un traslape de dieta

con los depredadores nativos. Por lo anterior en la presente investigación se busca determinar la dieta de *Pterois volitans*, *Scorpaena plumieri*, *Cephalopholis cruentata* y *Lutjanus apodus*, mediante la revisión de contenidos estomacales. Con los resultados obtenidos se realizó una comparación, determinando así el traslape de nicho trófico de las cuatro especies.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1 Descripción del área

Puerto Morelos se encuentra localizado a 32 km al sur de la ciudad de Cancún en el estado mexicano de Quintana Roo, entre los 20° 48' y 20°52' N y los 86°51' y 86°55" W. Tanto la barrera arrecifal como su línea costera abarcan 15 km de longitud. La distancia de la playa a la barrera varía entre 550 y 1500 m. La salinidad y temperatura varían poco a lo largo del año (Tussenbroek, 1994a y b, 1995) (Figura 1).

El sistema arrecifal de Puerto Morelos es parte constitutiva de la segunda barrera arrecifal más grande del mundo, sólo después de la gran barrera coralina de Australia. El arrecife sustenta ricas comunidades biológicas que se encuentran bien conservadas y tienen valor ecológico, económico y para investigación, lo que le confiere al área una importancia singular en el contexto nacional. El sistema arrecifal de Quintana Roo inicia en las inmediaciones de la zona costera de la ciudad de Cancún y se extiende hasta el sur de Belice. Sin embargo, actualmente esta zona ha sido objeto de una acelerada transformación, inducida por los numerosos proyectos turísticos que ahí se desarrollan (Herrera *et al.*, 2009).

2.2.2 Características bióticas

Según Tussenbroek (en Ruíz-Rentería *et al.*, 1998), la laguna arrecifal de Puerto Morelos presenta una vegetación bien desarrollada que se puede dividir en tres zonas: una franja litoral angosta, una zona intermedia amplia, y un área de vegetación en el arrecife Oeste. Las especies predominantes son *Thalassia testudinum*, *Syringodium filiforme*, *Halodule wrightii*, *Caulerpa* spp., *Lobophora variegata* y *Laurencia intricata*, entre otras. En términos del número y composición de especies, los arrecifes incluidos dentro del Parque Nacional son tan ricos como los de cualquier otro sistema arrecifal de la región

biogeográfica del Caribe. A la fecha existen registros y observaciones de 669 especies de fauna marina, tanto invertebrados como vertebrados (INE, 2000).

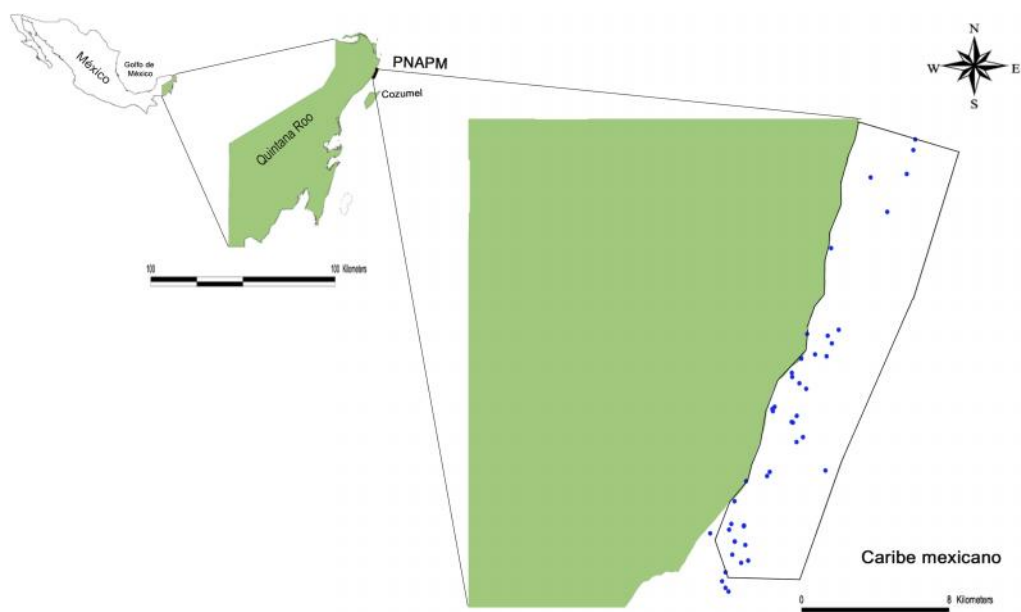


Figura 1. Localización del área de estudio, Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, Quintana Roo. Sitios de captura de los organismos del estudio (puntos azules).

2.3 TRABAJO DE CAMPO

Se realizaron muestreos mensuales de agosto de 2014 a mayo de 2015, en sitios del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, las coordenadas de los sitios fueron tomadas mediante un geoposicionador marca Garmin, modelo e Trex venture Cx. Para la colecta de los organismos (*Pterois volitans*, *Scorpaena plumieri*, *Cephalopholis cruentata* y *Lutjanus apodus*), se realizaron inmersiones utilizando equipo de buceo SCUBA (buceo autónomo). La captura de los organismos se llevó a cabo con ayuda de arpones de liga conocidos como hawaianas (Morris y Akins, 2009). Las colectas se realizaron en diferentes horarios (Colectas, crepusculares, diurnas y nocturnas). La colecta de los depredadores se realizó en las mismas jornadas de campo y en los mismos sitios por lo tanto el esfuerzo de muestreo fue el mismo. Debido a que los organismos de *Pterois volitans* y *Scorpaena plumieri* presentan espinas venenosas, éstos se colocaron en un bote colector para evitar el contacto directo con los buzos durante el tiempo de la colecta

(50-60 minutos aproximadamente).

Una vez en superficie se registró la longitud patrón y el peso de los organismos colectados. Posteriormente, los peces se evisceraron haciendo un corte por la región ventral utilizando unas tijeras de punta fina para extraer el estómago. El contenido estomacal fue colocado en bolsas individuales y se fijó con alcohol al 96% para su traslado y posterior identificación en el laboratorio.

(*) Para la colecta de los organismos se contó con los permisos correspondientes, los cuales fueron otorgados por la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (Conapesca).

2.4 TRABAJO DE LABORATORIO

2.4.1 Análisis e identificación taxonómica del contenido estomacal

Las presas obtenidas de los estómagos se identificaron al mayor nivel taxonómico posible con ayuda de un microscopio estereoscópico AmScope SZMT2 y con las claves taxonómicas de Mceachran y Fechhelm vol. I y II (1998), Humman y Deloach (2008), la página de FishBase (2014) y la guía peces costeros del Gran Caribe: sistema de información en línea versión 1.0, para la identificación de peces (Robertson *et al.*, 2015). Para los crustáceos se usaron las claves Abele y Kim (1986) y las claves de identificación de la FAO (2002) para ambos. Una vez que fueron identificadas las presas de los contenidos estomacales, se contabilizaron, pesaron y se registró la frecuencia con la que aparecieron en los estómagos de los depredadores antes mencionados, con los datos obtenidos se aplicaron los índices tróficos correspondientes y se determinaron las presas con mayor importancia para cada depredador. Con los resultados obtenidos se realizó una comparación entre las especies de estudio.

2.4.1.2 Índices y análisis estadísticos

Para determinar si el número de estómagos examinados es representativo en la determinación de la dieta de los cuatro depredadores, se realizó una curva de acumulación de las especies de presa (Moreno, 2001 y Colwell *et al.*, 2004, 2012).

$$E(S) = \sum 1 - \frac{(N - Ni) / n}{N / n}$$

2.4.1.2.1 Clases de tallas

Los datos de longitud patrón (LP) que se obtuvieron, fueron analizados para obtener los intervalos de confianza y establecer las clases de tallas, utilizando el Software JMP versión 6.0.0 (Sall, 1996).

Para poder evaluar la composición de presas de manera cuantitativa, se aplicaron diferentes índices o métodos.

2.4.1.2.2 Índice de vacuidad

La actividad alimentaria se representó por medio del índice de vacuidad, que indica el porcentaje de estómagos vacíos y de estómagos que presentan alimento. El análisis se hizo de acuerdo a lo descrito en Molinero y Flos (1992), utilizando la ecuación:

$$IV = NEV / NEE * 100$$

IV = índice de vacuidad.

Nev= Número de estómagos vacíos.

Nex = Número de estómagos analizados

2.4.1.2.3 Índice de repleción gástrica

Se determinó mediante la aplicación de un índice empírico de repleción (saciedad) gástrica de cuatro componentes, el cual considera el grado de llenado de los estómagos de los organismos colectados. La escala empleada fue la siguiente:

$$IR = (Pce / Pp) * 100$$

IR = Índice de repleción gástrica.

Pce = peso del contenido estomacal.

Pp = peso del pez.

- I. Lleno 3/4 de su capacidad total
- II. Medio lleno 1/2 y <3/4 de su capacidad total
- III. Medio vacío 1/4 de su capacidad total y <1/2
- IV. Vacío 1/4 de su capacidad total

Para la cuantificación de las presas se usaron los métodos de Gallardo-Cabello *et al.* (1991); Hyslop (1980); Pinkas *et al.*, (1971) y Cailliet *et al.*, (1986).

2.4.1.2.4 Amplitud de nicho trófico

Se calculó la amplitud del nicho trófico para determinar si las especies de estudio presentan una especialización sobre los recursos alimentarios existentes. Para ello se utilizó el índice estandarizado de Levin (Krebs, 1999):

$$B_i = 1/n - 1 \left\{ \left(1 / \sum P_{ij}^2 \right) - 1 \right\}$$

Donde:

B_i = Índice estandarizado de Levin para el depredador i

P_{ij} = Proporción de la presa j en la dieta del depredador i

n = Número de componentes alimentarios.

Dicho índice asume valores de 0 a 1; cuando los valores de B_i son cercanos a cero (<0.6) el depredador se considera más selectivo sobre ciertos grupos de presa; mientras que los valores que se aproximan a 1 (>0.6), se considera que el depredador es más generalista sobre los recursos alimentarios. Así como el índice de diversidad de Shannon-Winear

2.4.1.2.5 Método numérico

Este método nos permite registrar la importancia numérica de cada especie de presa en los estómagos analizados. Se expresa como una proporción del total de presas encontradas (Pinkas *et al.*, 1971; Hyslop, 1980; y Cailliet *et al.*, 1986).

$$N = n / NT * 100$$

Donde:

n= Número total de presas de una determinada especie.

NT= Número total de presas de todas las especies.

2.4.1.2.6 Método gravimétrico

Se utilizó el peso de las presas consumidas. Los valores obtenidos se expresaron como el porcentaje del peso total (Pinkas *et al.*, 1971, Hyslop, 1980 y Cailliet *et al.*, 1986).

$$P = p / PT * 100$$

Donde:

p= Peso (g) de un determinado tipo de alimento (especies).

PT= Peso (g) de la totalidad de especies.

2.4.1.2.7 Frecuencia de aparición

Este método indica las posibles preferencias alimenticias y se calcula con la ecuación (Pinkas *et al.*, 1971 Hyslop, 1980y Cailliet *et al.*, 1986):

$$FA = n / NE * 100$$

Donde: n= Número de estómagos que presentaron un determinado tipo de alimento.

NE= Número total de estómagos con alimento.

Mediante los porcentajes obtenidos por esta ecuación se pueden distinguir tres categorías de presas:

Accidentales $f < 10$

Secundarios $f > 10$ o < 50

Preferenciales $f > 50$

2.4.1.2.8 Índice de importancia relativa

Con los valores obtenidos en el método gravimétrico, la frecuencia de aparición y abundancia numérica se obtuvo el índice de importancia relativa modificado por Stevens *et al.* (1982), que utiliza el peso estimado en lugar del volumen de alimento empleado por

Pinkas *et al.* (1971). Este método permite la cuantificación de la importancia relativa de determinado grupo trófico dentro de la alimentación de la especie, usando la ecuación:

$$IIR = (N + P) * FA$$

Donde: IIR= índice de importancia relativa

N=Porcentaje del número de organismos

P= Porcentaje de peso

FA= Porcentaje de frecuencia de aparición

2.5.- RESULTADOS

2.5.1 Muestras obtenidas y análisis de contenido estomacal

Se colectaron un total de 430 organismos de las cuatro especies de estudio, en un total de 55 sitios dentro del Área Natural Protegida, Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos (PNAPM) (Anexo 1 y Figura 2).

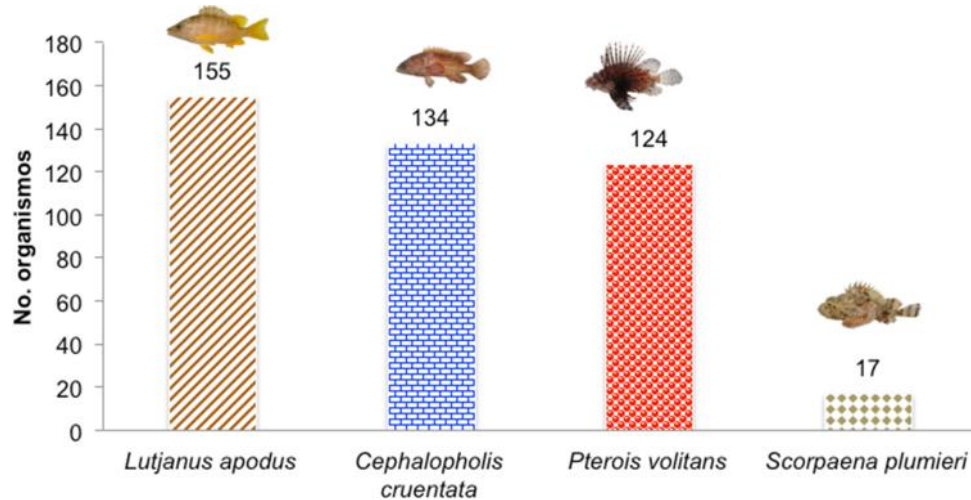


Figura 2. Número de organismos colectados para las cuatro especies de estudio dentro del ANP Arrecife de Puerto Morelos.

2.5.1.1 Curva de acumulación

Para realizar la curva de acumulación con las especies de estudio, se consideraron los estómagos en los cuales se logró identificar algún tipo de presa. En la figura tres se determina que la curva de acumulación para *P. volitans*, *C. cruentata* y *L. apodus* no llegó a la asíntota en ninguno de los casos (Figura 3).

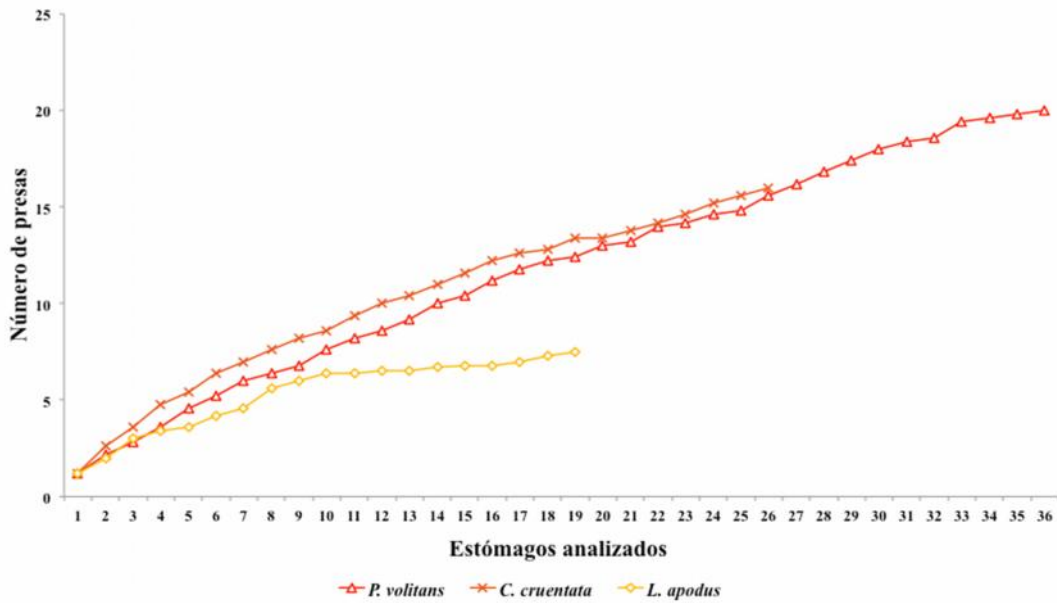


Figura 3. Curvas de acumulación de las especies de estudio con el número de presas en función del número de estómagos analizados con contenido estomacal.

2.5.1.2 Índice de vacuidad

Del total de organismos colectados, se encontró un alto porcentaje de estómagos vacíos; *Scorpaena plumieri* con un 70.59%, *Cephalopholis cruentata* con un 67.91%, *Lutjanus apodus* con 63.23%. Sólo *Pterois volitans* presentó un porcentaje relativamente bajo de estómagos vacíos con un 17.74% (Figura 4).

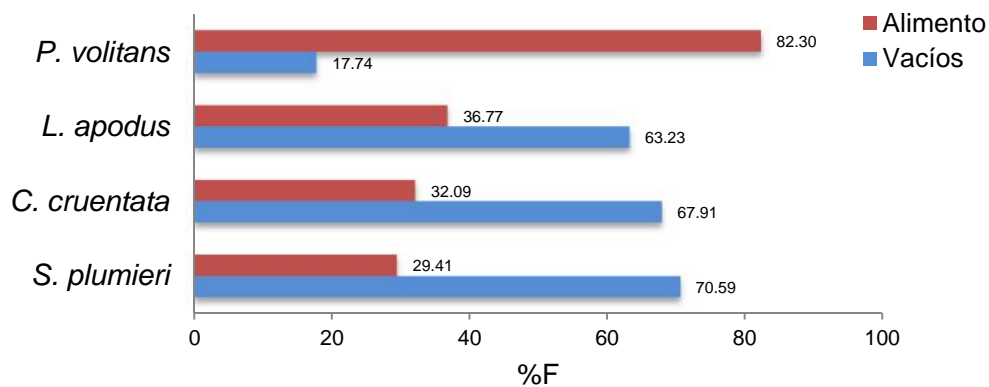


Figura 4. Índice de vacuidad (%F) de las especies *Scorpaena plumieri*, *Cephalopholis cruentata*, *Lutjanus apodus* y *Pterois volitans*.

2.5.1.3 Índice de repleción gástrica

Para el análisis, los estómagos se agruparon en cuatro categorías de acuerdo a la cantidad de alimento presente en las cuatro especies. Los estómagos de las tres especies nativas que presentaron alimento se concentraron principalmente en la categoría de casi vacíos, los estómagos de *P. volitans* se agruparon en la categoría de casi llenos, con un bajo porcentaje de estómagos llenos (Figura 5).

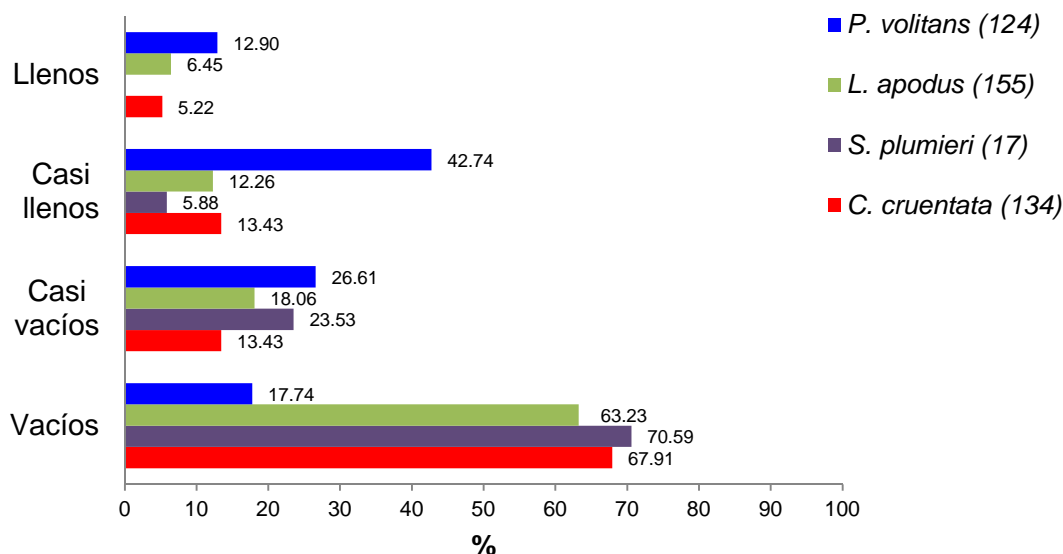


Figura 5. Índice de repleción gástrica para las especies de estudio.

2.5.1.4 Espectro trófico general

La dieta de las cuatro especies estudiadas se compone principalmente de peces y crustáceos. En el caso de *S. plumieri* se registró un organismo del grupo de los moluscos. El grupo de los peces constituyó el mayor porcentaje para *P. volitans* y *C. cruentata* y mientras que los crustáceos estuvieron en menor proporción, por el contrario, *L. apodus* y *S. plumieri* presentaron el porcentaje más bajo del grupo de los peces y un valor elevado en el grupo de crustáceos (Figura 6).

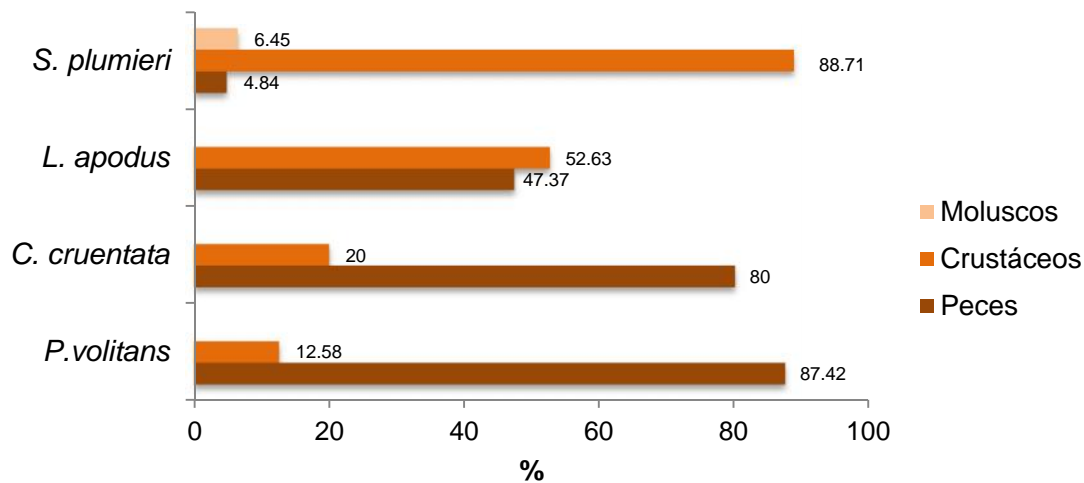


Figura 6. Porcentaje de los grupos taxonómicos registrados en las dietas de las especies de estudio.

2.5.1.4.1 Espectro trófico general de *Pterois volitans*

Se colectaron un total de 124 organismos de *P. volitans*, la longitud total vario entre 4.5 a 34 cm (media=18.63 cm), mientras que el peso de 1 a 620 g (media=118.04 g). Ciento dos de los 124 estómagos analizados presentaron alimento, con un total de 236.89 g de biomasa en las presas. Los artículos alimentarios no identificados debido al alto grado de digestión en que se encontraron se clasificaron como restos de peces o de crustáceos, siendo un 38.17% (90.43 g) de la biomasa total de las presas. Se identificaron 35 artículos alimentarios, representados en 16 familias, 21 géneros y 18 especies (Anexo 2). Del total de los ítems identificados el 54.29% corresponden a peces y el 47.71 % a crustáceos.

2.5.1.4.2 Espectro trófico general de *Cephalopholis cruentata*

Se colectaron un total de 134 organismos de *C. cruentata*, la longitud total vario de 7.5 a 30 cm (media=19.5). Mientras que el peso fue de 5.5 a 525.3 g (media= 130.3 g). Cuarenta y tres de los 134 estómagos presentaron alimento, con un total de 104.5 g de biomasa en presas, debido a que algunas presas presentaron un alto grado de digestión y carecían de estructuras que facilitaran su identificación, se clasificaron como restos de peces o de crustáceos, representando el 13.89% (14.52 g) del total del contenido estomacal, se identificaron 24 artículos alimentarios, representados en: 16 familias, 18

géneros y 16 especies (Anexo 2). De estos el 28% corresponden a peces y el 72% a crustáceos.

2.5.1.4.3 Espectro trófico general de *Lutjanus apodus*

Se colectaron 155 organismos de *L. apodus*, con una longitud total de 5 cm a 30.5 cm (media=18.13) y un peso de 9 g a 497.7 g (media=131.86), del total de los 155 estómagos analizados, 57 presentaron alimento, con un total de 44.12 g de biomasa en presas. El 63.69% de las presas encontradas no fue posible su identificación y se clasificaron como restos de peces o de crustáceos. Se identificaron 17 artículos alimentarios, representados en 14 familias, 11 géneros y 7 especies (Anexo 2). El 17.65% corresponden a peces, predominando con 82.35% el grupo de los crustáceos.

2.5.1.4.4 Espectro trófico general de *Scorpaena plumieri*

Se colectaron 17 organismos de *S. plumieri*, con una longitud total de 12 a 33.5 cm (media=24.15), con un peso de 35.6 a 854.7 g (media=374.94). De los 17 estómagos 5 presentaron alimento, identificándose un total de seis artículos alimentarios, representados en 6 familias, 6 géneros y 3 especies (Anexo 3). Una presa corresponde al grupo de peces, cuatro al grupo de los crustáceos y una al grupo de los moluscos. Los moluscos sólo se registraron para esta especie.

2.5.1.5 Índice de amplitud de nicho trófico

Debido al bajo número de organismos recolectados de *S. plumieri* y a que sólo se encontraron seis presas, no se realizaron los índices utilizados para *P. volitans*, *C. cruentata* y *L. apodus*. La especie que presenta una mayor amplitud del nicho es *P. volitans*, mientras que *L. apodus* presentó la menor amplitud. De acuerdo al índice de Shannon-Wiener, *C. cruentata* fue la especie con mayor diversidad alimentaria en su dieta (Cuadro 1).

Cuadro 1. Amplitud de nicho trófico para las tres especies de estudio.

Especie	Índice de Levin (B_A)	Shannon-Wiener (bits/ind)
<i>C. cruentata</i>	0.6	2.65
<i>P. volitans</i>	0.74	2.43
<i>L. apodus</i>	0.57	1.88

2.5.1.6 Índices y análisis cuantitativos

2.5.1.6.1 índice numérico

En el índice numérico, las presas se agruparon por familia, género y especie. Se calculó el índice numérico para cada nivel taxonómico. Se encontró que para *P. volitans* las familias que tuvieron un mayor aporte fueron Palaemonidae (34.17%), Solenoceridae (20.83%) y Scaridae (10.83%), para *C. cruentata* fueron Palaemonidae (22.22%), Gonodactylidae (16.67%), Labridae, Scaridae y Solenoceridae con 8.33 %. Para *L. apodus* fueron Majidae (22.64%), Palaemonidae y Solenoceridae con 18.87% y Portunidae (15.09%) (Figura 7).

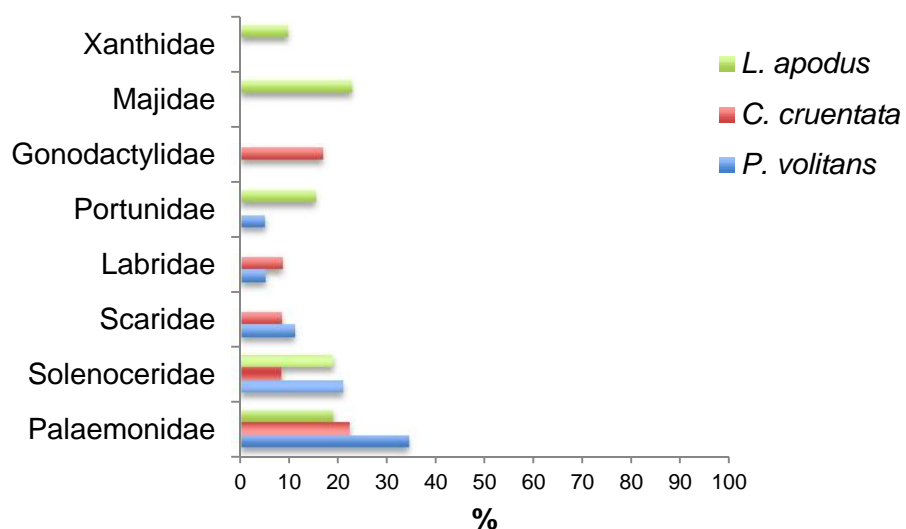


Figura 7. Índice numérico por familia.

Los géneros más importantes como presas para *P. volitans* fueron *Periclimenes* (36.94%), *Pleoticus* (20.72%), *Sparisoma* (9.01%), *Alpheus* (4.5%) y *Halichoeres* con 3.6%. Para *C. cruentata* fueron *Gonodactylus* (19.18.92%), *Periclimenes* (13.51%) y *Pleoticus*, *Sparisoma* y *Palaemonetes* con 8.11%. Para *L. apodus*, fueron *Mitrax* (25.58%), *Pleoticus* (23.26%), *Periclimenes* (18.6%) *Panopeus* (11.63%) y *Callinectes* (6.98%) (Figura 8).

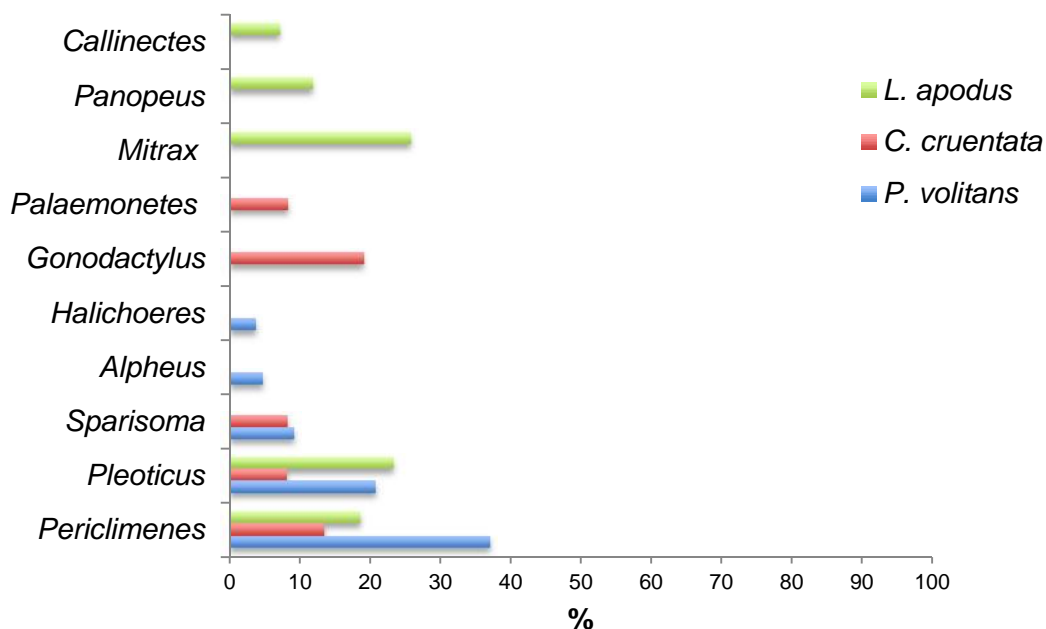


Figura 8. Índice numérico para los géneros más importantes para las especies de peces en el estudio.

El análisis por especie arrojó que *Pleoticus robustus* (30.26%), *Periclimenes pedersoni* (21.05%) y *Sparisoma atomarium* (13.16%) fueron los más importantes para *P. volitans*; *Gonodactylus curacaoensis* (14.29%), *Clepticus parrae* (9.52%) y *Pleoticus robustus* (9.52%) fueron los más importantes para *C. cruentata*. *Pleoticus robustus* (52.63%), *Periclimenes rathbunae*, *Mitrax fórceps* y *Petrolisthes gelatinus* (10.53%), para *L. apodus* (Figura 9).

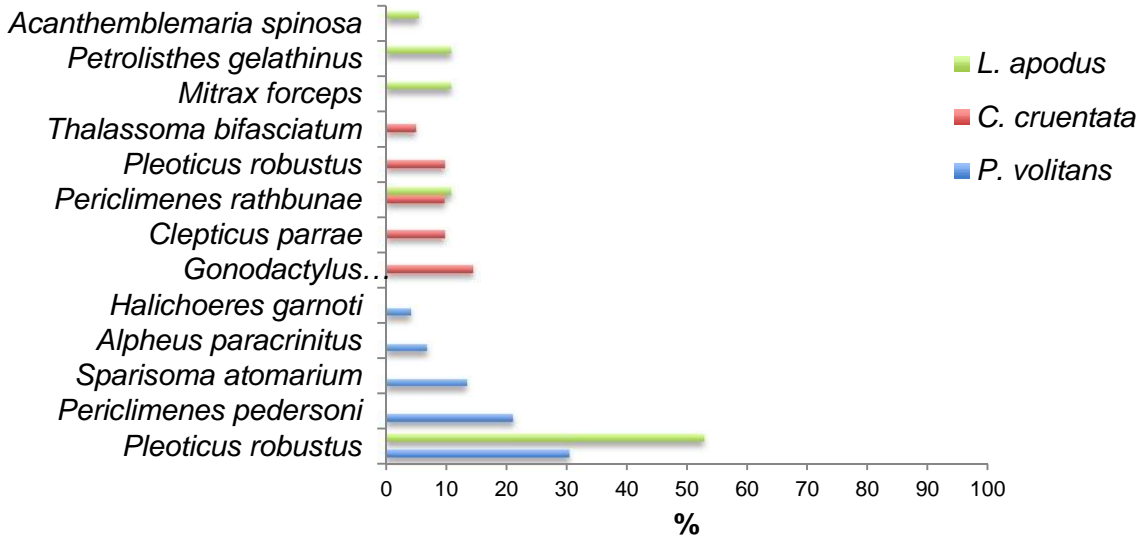


Figura 9. Índice numérico de las presas más importantes.

2.5.1.6.2 índice gravimétrico

Las familias de presa más importantes de acuerdo a la biomasa fueron para *P. volitans* Labridae (53.26%), Pomacentridae (14.78%) y Holocentridae (8.21%). Las familias de peces Labridae (33.6%), Carangidae (19.98%) y Pomacentridae (15.85%) para *C. cruentata*, mientras que para *L. apodus* fueron las familias de crustáceos Solenoceridae (29.62%), Majidae (18.82%) y Palaemonidae (18.12%) (Figura 10).

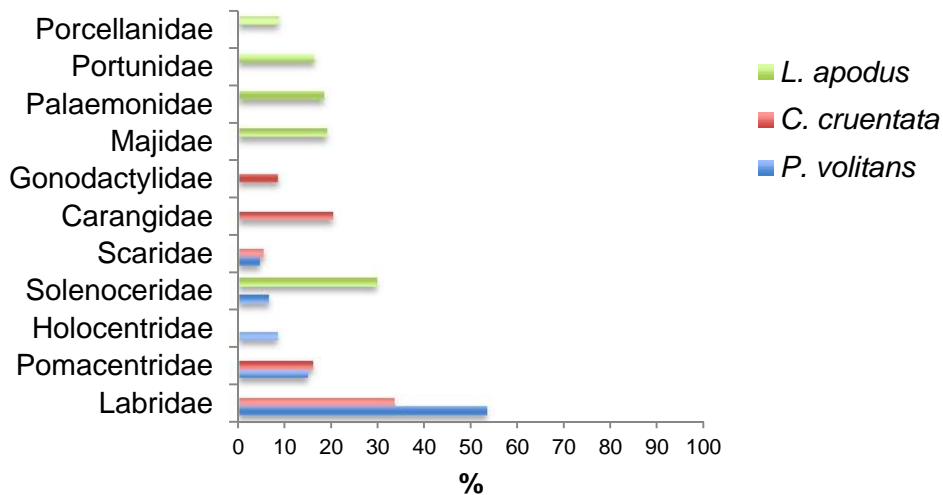


Figura 10. Índice gravimétrico por familia para las especies de peces en el estudio.

Los géneros de mayor importancia para *P. volitans* fueron *Clepticus* (38.75%), *Halichoeres* (14.57%) y *Stegastes* (14.35%). Para *C. cruentata* *Clepticus* (27.12%), *Carangoides* (19.89%) y *Chromis* (15.78%). Mientras que *Pleoticus* (36.48%), *Mitrax* (21.46%) y *Periclimenes* (20.6%) lo fueron para *L. apodus* (Figura 11).

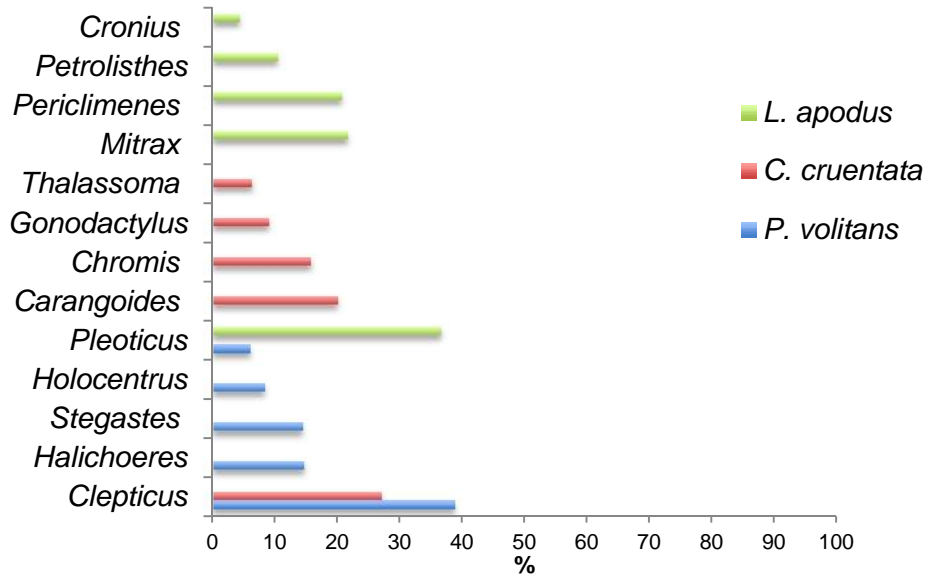


Figura 11. Índice gravimétrico por género para las especies de peces en el estudio.

Las especies más representativas para *P. volitans* fueron *Clepticus parrae* (41.73%), *Stegastes partitus* (13.99%) y *Halichoeres garnoti* (10.59%). Para *C. cruentata*: *Clepticus parrae* (30.2%), *Carangoides ruber* (22.15%) y *Chromis cyanea* (17.57%). Para *L. apodus* fueron *Pleoticus robustus* (49.13%), *Mitrax forceps* (13.87%) y *Periclimenes rathbunae* (13.87%) (Figura 12).

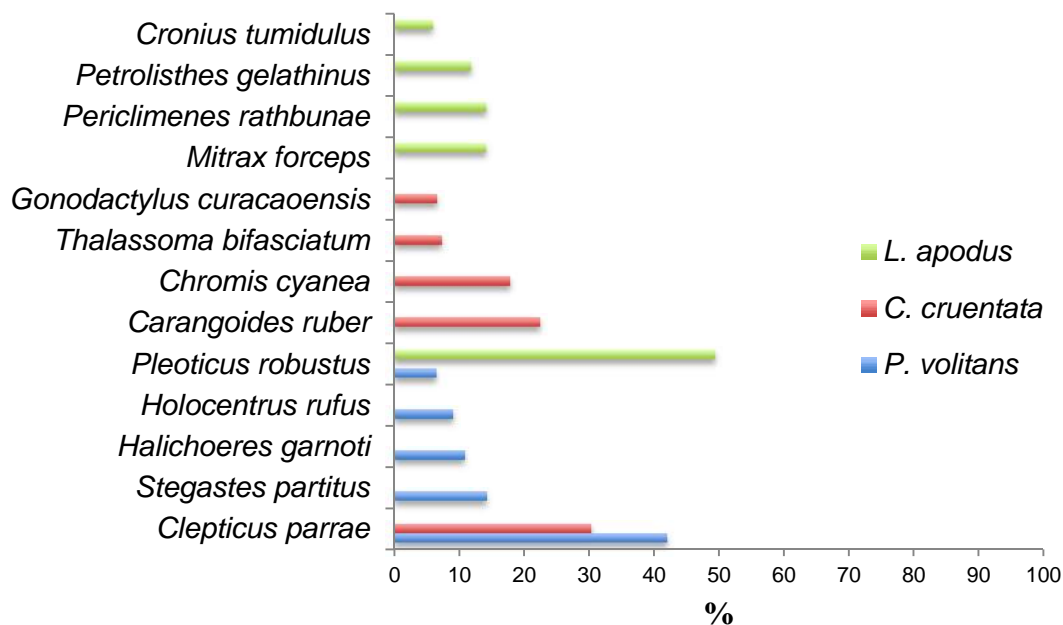


Figura 12. Índice gravimétrico por especie para las especies de peces en el estudio.

2.5.1.6.3 índice de frecuencia de aparición

Con respecto al índice de frecuencia de aparición por familia se encontró que en *P. volitans* las familias Palaemonidae (28.57%), Solenoceridae (14.29%), Labridae (8.57%) y Scaridae (7.14%) fueron las más representativas, mientras que para *C. cruentata* las familias Gonodactylidae y Palaemonidae (18.18%), Labridae y Scaridae (9.09%) fueron las más representativas. Para *L. apodus* las familias Palaemonidae (21.88%), Majidae, Portunidae y Solenoceridae (18.75%) fueron las más representativas (Figura 13).

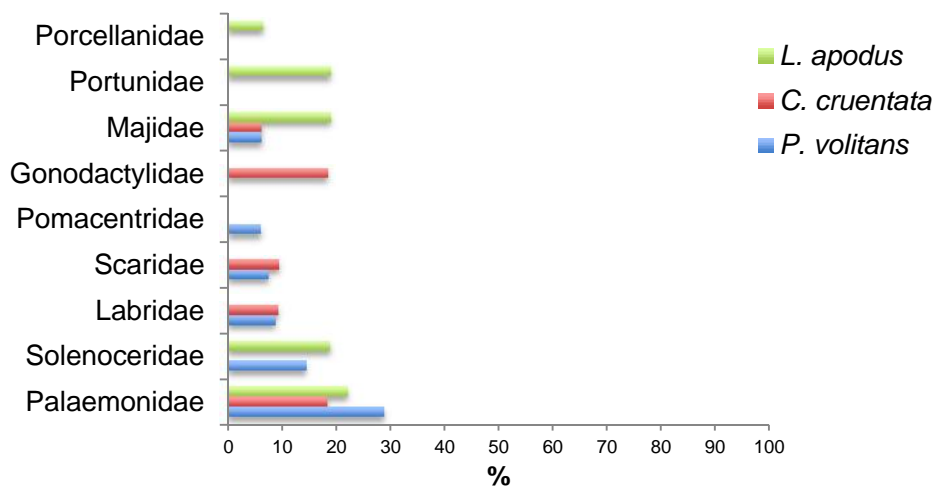


Figura 13. Índice de frecuencia de aparición por familia para las especies de peces en el estudio.

En el análisis por género; *Periclimenes* (36.67%), *Sparisoma* (11.67%), *Stegastes* y *Apogon* (5%) fueron los más representativos para *P. volitans*. Para *C. cruentata*; *Gonodactylus* (19.35%) *Sparisoma* (9.68%) y *Periclimenes* (9.68%). Para *L. apodus* *Gammarus* (81.87%), *Pleoticus* (4.66%) y *Periclimenes* (3.11%) fueron los más representativos (Figura 14).

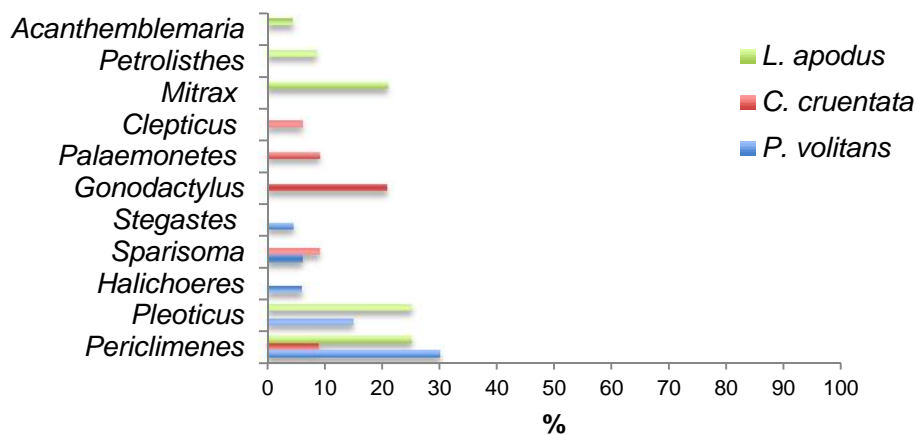


Figura 14. Índice de frecuencia de aparición por género para las especies de peces del estudio.

Las especies *Periclimenes rathbunae* (12%), *Stegastes partitus* (8%), *Apogon maculatus* (8%) y *Sparisoma atomarium* (8%) son las más importantes para *P. volitans*. *Gonodactylus curacaoensis* (16.67%), *Clepticus parrae* (5.56%), *Thalassoma bifasciatum* (5.56%) y *Cantherines pullus* (5.56%) son las más importantes para *C. cruentata*. *Pleoticus robustus* (50%) *Mitrax forceps* (20%) y *Periclimenes rathbunae* (10%) son las más importantes para *L. apodus* (Figura 15).

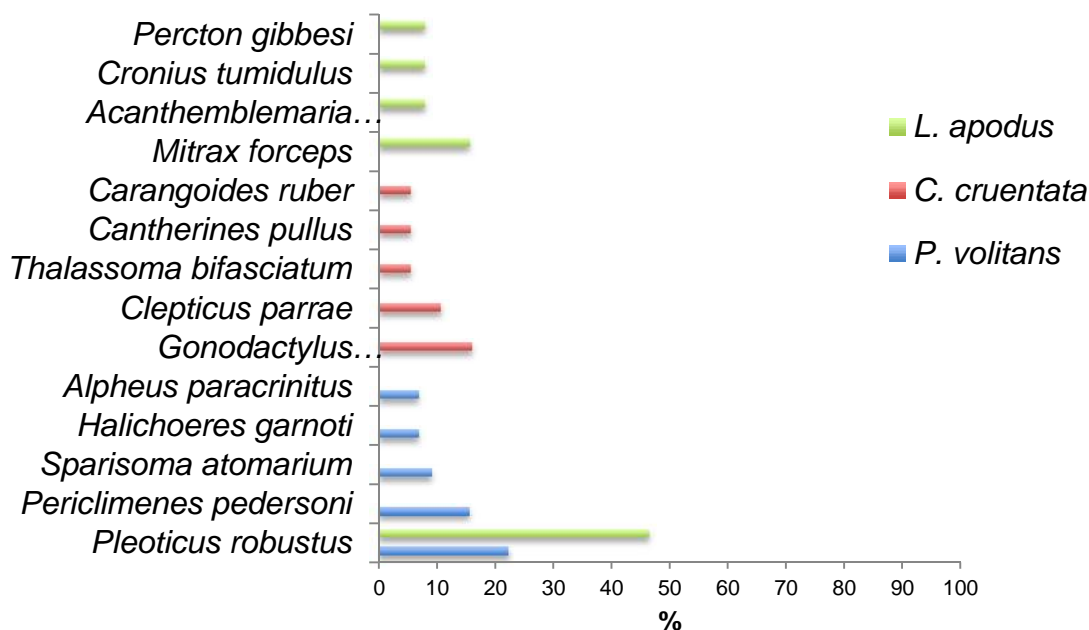


Figura 15. Índice de frecuencia de aparición por especie para las especies de peces del estudio.

2.5.1.6.4 índice de importancia relativa

Se obtuvo que para *P. volitans*, las familias Palaemonidae (60.39%), Solenoceridae (18.78%), Labridae (5.94%), Scaridae (5.06%) y Pomacentridae (2.38%), fueron las más representativas. Para *C. cruentata* las familias Palaemonidae (35.37%), Gonodactylidae (27.04%), Labridae (9.49%), Scaridae (7.05%) y Solenoceridae (4.45%) fueron las más representativas. Mientras que para *L. apodus* fueron Majidae (26.57%), Palaemonidae (25.82%), Solenoceridae (22.98%), Portunidae (17.92%) y Porcellanidae (2.62%) (Figura 16).

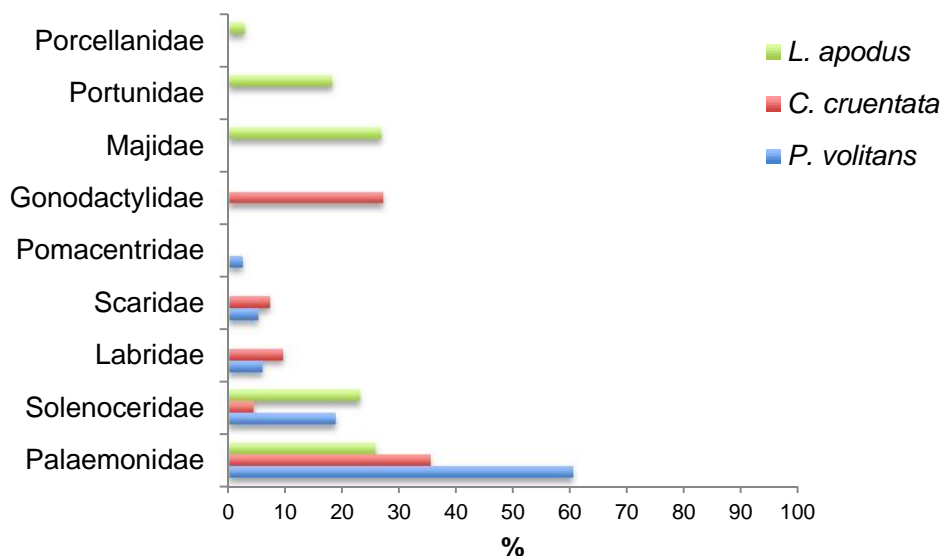


Figura 16. Índice de importancia relativa por familia para las especies de peces del estudio.

En el análisis por géneros, los más representativos en las dietas de las especies analizadas fueron los siguientes: para *P. volitans*; *Periclimenes* (65.82%), *Pleoticus* (18.78%) y *Sparisoma* (3.44%). Para *C. cruentata* *Gonodactylus* (40.89%), *Periclimenes* (12.49%) y *Sparisoma* (7.9%). Para *L. apodus* fueron *Pleoticus* (33.5%), *Mitrax* (30.06%) y *Periclimenes* (26.34%) (Figura 17).

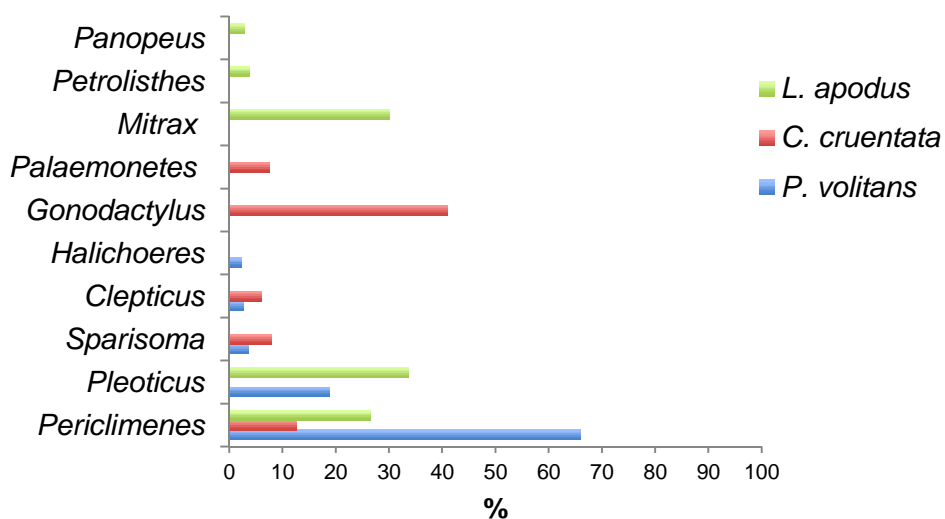


Figura 17. Índice de importancia relativa por género para las especies de peces del estudio.

En el análisis por especie se encontró que *Pleoticus robustus* (49.28%), *Periclimenes*

pedersoni (23.84%), *Sparisoma atomarium* (8.79%) y *Clepticus parrae* (3.88%) fueron las especies más importantes para *P. volitans*. *Gonodactylus curacaoensis* (28.06%), *Clepticus parrae* (15.78%) y *Periclimenes rathbunae* (6.24%) lo fueron para *C. cruentata*. Mientras que *Pleoticus robustus* (83.32%), *Mitrax fórceps* (15.91%), *Periclimenes rathbunae* (3.19%) fueron las especies más importantes para *L. apodus* (Figura 18).

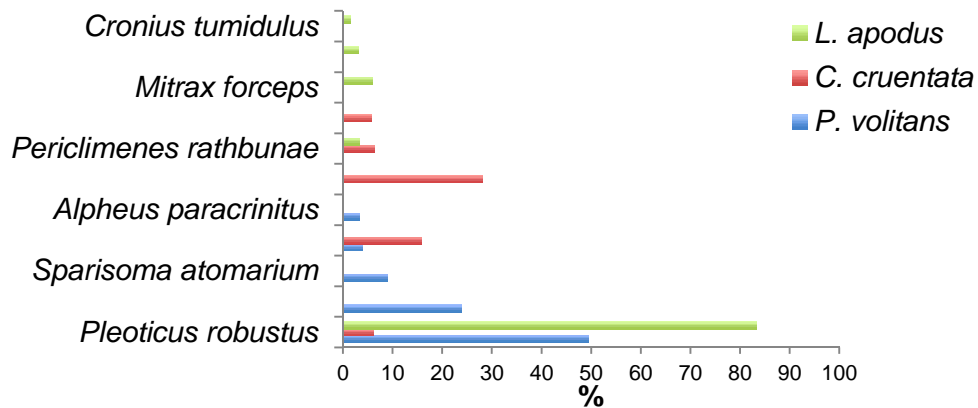


Figura 18. Índice de importancia relativa por especie para las especies de peces del estudio.

Para determinar el nivel de similitud que existe entre la dieta de las especies, se realizó una comparación de las dietas utilizando el índice de Bray Curtis. El resultado indica que *P. volitans* y *C. cruentata* tienen una similitud de sus dietas del 25.67%, mientras que entre *L. apodus* y *P. volitans* es de 28.57%. *Lutjanus apodus* y *C. cruentata* tuvieron una similitud de 30% (Figura 19).

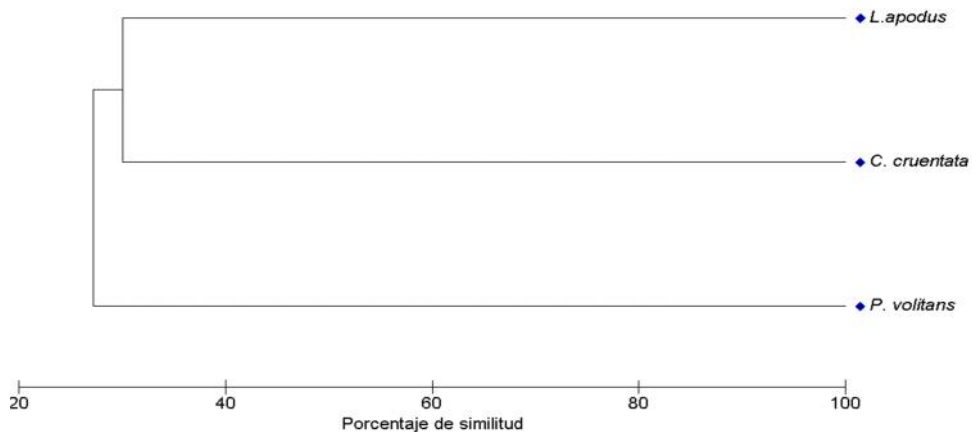


Figura 19. Índice de similitud de Bray Curtis para las especies de peces del estudio.

2.5.1.7 Espectro trófico por tallas de la especie *Pterois volitans*

Los organismos colectados fueron separados en tres categorías de talla (chicos que van de una talla de 1 a 15 cm; medianos de 15.1 a 22 cm y grandes de 22.1 a 34 cm), se encontró que conforme aumenta la longitud se presenta una mayor proporción de biomasa en peces, mientras que en tallas pequeñas predomina el grupo de los crustáceos (Figura 20).

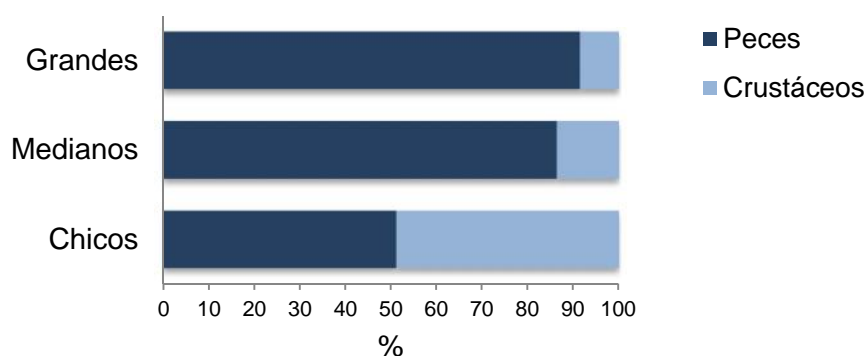


Figura 20. Biomasa de los grupos encontrados en la dieta de *P. volitans* por categorías de tallas.

Para la categoría de tallas denominada como chicas se identificaron 15 ítems alimenticios, correspondientes a diez familias, ocho géneros y siete especies. El 66.67% de las presas correspondían al grupo de los crustáceos y el 33.33% al de los peces. Las presas más importantes de acuerdo al índice de importancia relativa fueron *Periclimenes* sp., *P. pedersoni* y *Pleoticus robustus* (Anexo 3 y figura 20). Para la categoría de tallas medianas se identificaron 18 ítems, 11 familias, 14 géneros y diez especies. Siendo 58.82% crustáceos y 41.18% fueron peces. Las presas con la mayor importancia fueron *Periclimenes* sp., *Pleoticus robustus* y *Periclimenes pedersoni* (Anexo 3 y figura 21). En la categoría de tallas grandes se encontraron 17 ítems alimentarios de los cuales el 47.1% corresponden al grupo de los crustáceos y 52.9% al grupo de los peces. Las presas con mayor importancia fueron *Pleoticus robustus*, *Sparisoma atomarium* y *Halichoeres garnoti* (Anexo 4 y figuras 21 y 22).

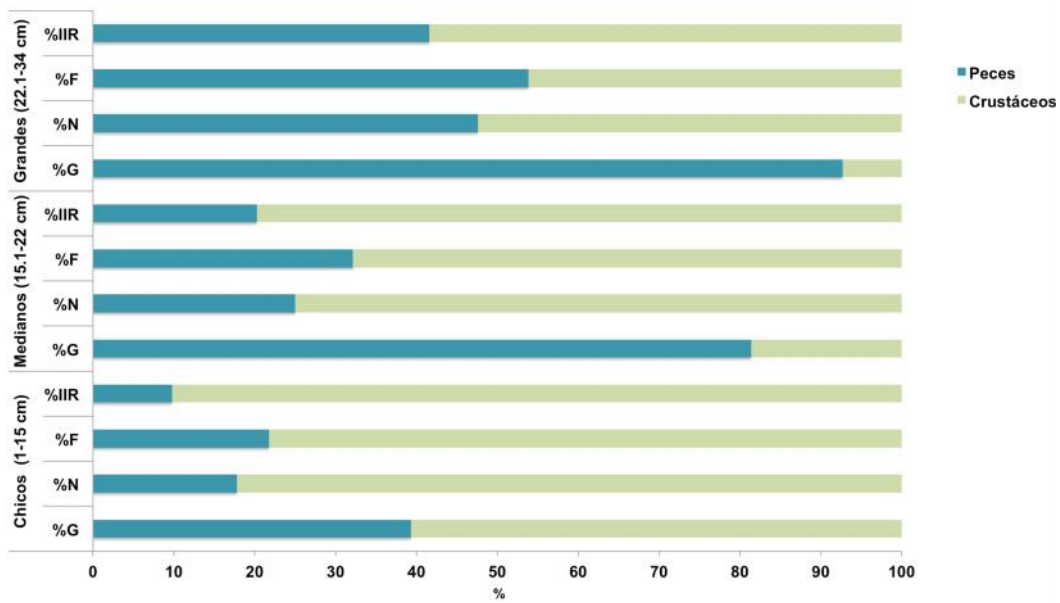


Figura 21. Importancia de los grupos encontrados de acuerdo a los índices; Gravimétrico (%G), Numérico (%N), índice de Frecuencia de aparición (%F) e índice de importancia Relativa (%IIR).

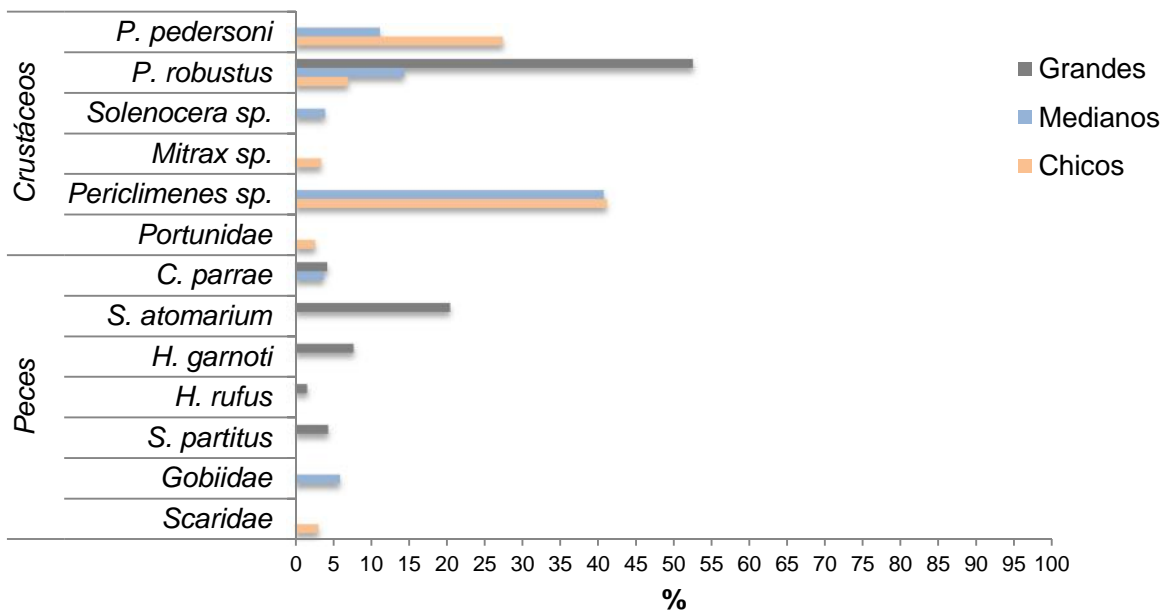


Figura 22. Principales presas obtenidas de acuerdo el índice de importancia relativa por categorías de tallas para *P. volitans*.

2.5.1.7.1 Índice de amplitud de nicho trófico

De acuerdo al análisis de nicho trófico, se encontró que la categoría de individuos grandes

presentaron una mayor amplitud del nicho, mientras que la categoría de tallas medianas fueron los de menor amplitud. De acuerdo al índice de Shannon-Wiener la categoría de medianos presentó la mayor diversidad y la categoría de chicos la menor diversidad (Cuadro 2).

Cuadro 2. Amplitud de nicho trófico por categorías de tallas para *Pterois volitans*.

Categoría	Índice de Levin (B_A)	Shannon-Wiener (bits / ind.)
Chicos	0.45	1.37
Medianos	0.43	1.98
Grandes	0.60	1.93

De acuerdo al índice de Bray Curtis en la comparación de las dieta de *P. volitans* por categoría utilizada, la categoría de los chicos y medianos comparten una similitud de 62%, mientras que chicos y grandes es de 24%. La categoría de medianos y grandes un 37.8% (Figura 23).

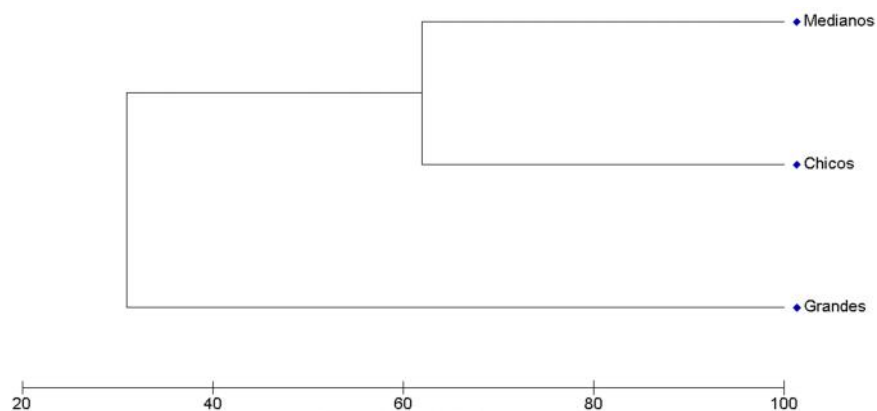


Figura 23. Índice de similitud de Bray Curtis para las categorías de tallas (Chicos, medianos y grandes) de *P. volitans*.

Asimismo, se realizó una comparación de similitud con las categorías de tallas (chicos, medianos y grandes) para *P. volitans* con las dietas de las especies *L. apodus* y *C.*

cruentata. Se encontró que la categoría de tallas medianas presentó una mayor similitud con la dieta de *L. apodus* (38.46%), *Cephalopholis cruentata* presentó mayor similitud con la categoría de los chicos de 32.87% (Figura 24).

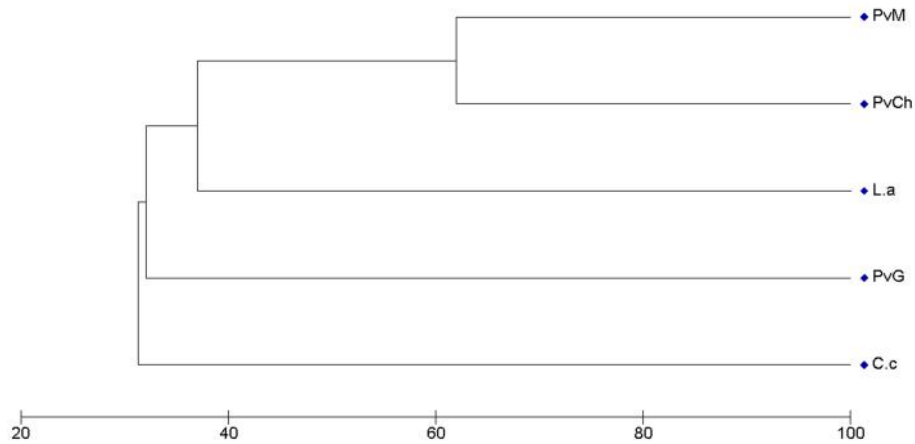


Figura 24. Índice de similitud de Bray Curtis para las categorías de tallas de *P. volitans* y las especies de estudio; *P. volitans* chicos (PvCh), *P. volitans* medianos (PvM), *P. volitans* Grandes (PvG), *C. cruentata* (C.c) y *L. apodus* (L.a).

2.6 DISCUSIÓN

2.6.1 *Pterois volitans*

En el presente estudio se colectaron en total 124 organismos de *P. volitans*, en los estómagos analizados se encontró un bajo porcentaje de estómagos vacíos (17.74%), evidenciando la alta capacidad que tienen de alimentarse de las especies nativas, el alto porcentaje de estómagos con alimento es congruente con estudios previos (Valdez-Moreno *et al.*, 2012; Arredondo-Chávez, 2012; Sánchez-Jiménez, 2013; Ávila-Morales, 2014; Torres-Chávez, 2014 y Villaseñor-Derbez y Herrera-Pérez, (2014) para el Caribe mexicano, así como para el Golfo de México (Quijano-Puerto *et al.*, 2013).

Sin embargo, a pesar del alto porcentaje de estómagos con alimento, la curva de acumulación de especies mostró un comportamiento asintótico, esto puede deberse a que se alimenta de una gran variedad de especies. Trabajos previos han reportado que *P. volitans* no presenta preferencia alimentaria, siendo un carnívoro generalista, por lo cual la curva de acumulación de especies presas, al igual que el presente trabajo, no llegaron a la asíntota, lo que se puede deber a la amplia gama de especies que consume el pez león (Morris, 2009; Arias-González *et al.*, 2011; Muñoz *et al.*, 2011; McCleery, 2011; Arredondo-Chávez, 2012; Valdez-Moreno *et al.*, 2012; Sánchez-Jiménez, 2013; Ávila-Morales, 2014 y Torres-Chávez, 2014).

Se determinó que *P. volitans* se alimenta principalmente de peces y crustáceos, coincidiendo con trabajos previos realizados en diferentes zonas del Atlántico (Morris, 2009; Arias-González *et al.*, 2011; Muñoz *et al.*, 2011; McCleery, 2011; Moreno-Valdez *et al.*, 2012). Una diferencia notable de la dieta de *P. volitans* en la zona de invasión con respecto a su área de distribución natural es la proporción de los grupos de presas de las cuales se alimenta, Priyadharsini *et al.* (2013), realizaron un estudio en la costa de Cuddalore, India, encontrando que la dieta de este depredador se compone de once diferentes grupos, siendo el grupo de los crustáceos el más importante. En la zona de invasión se ha observado que las especies de peces predominan en su dieta, probablemente porque las especies nativas aun no identifican a *P. volitans* como amenaza. Lönnstedt y McCormick, (2013) plantean la hipótesis de que *P. volitans* puede evitar ser detectado por las presas químicamente, lo cual le facilita la captura de alimento.

Por su parte Kindinger (2015) realizó un estudio en las Bahamas donde estudiaron el comportamiento de *Stegastes planifrons* (damisela de tres puntos), frente a *P. volitans* y tres depredadores nativos (*Cephalopholis fulva*, *Haemulon plumieri* y *Acanthurus bahianus*). Observó que *S. planifrons*, ante la presencia de *P. volitans*, tenía un comportamiento mínimo, similar al de un objeto inanimado, a diferencia de las especies nativas con las cuales mostró conductas agresivas; además, menciona que las damiselas también presentan estas conductas ante la presencia de *C. cruentata*, lo que sugiere que las damiselas son incapaces de reconocer al pez león como un depredador en la zona invadida. Es probable que, esto se deba al poco tiempo de este depredador en la región, aunado a las características morfológicas y al comportamiento de caza lo hace un depredador potencial de las especies nativas.

Ávila-Morales (2014) en un estudio sobre la dieta del pez león en Isla Contoy encontró a *P. longicaudatus* como la presa más importante. *Periclimenes pedersoni* fue la especie que tuvo mayor frecuencia y número de organismos presa en Puerto Morelos. Ecológicamente estas especies viven asociadas a organismos invertebrados, por lo general a corales y anemonas cumpliendo una función como limpiadora (Fernández *et al.*, 2012). *Periclimenes longicaudatus*, al igual que *P. pedersoni*, pertenece a la familia Palaemonidae. La presencia de *P. longicaudatus* en la dieta de *P. volitans*, lo atribuye al tipo de hábitat que presenta Isla Contoy. La laguna arrecifal de Puerto Morelos al estar conectada con el manglar presenta una zona con características similares a Isla Contoy, lo cual permite reclutar a numerosas especies, entre ellas los crustáceos. Probablemente a este factor se deba que en las dos zonas éstas especies de camarones limpiadores sean la presa principal de *P. volitans*.

Otra de las familias de importancia en la dieta de *P. volitans* fue Solinoceridae, de la cual se identificó a *Pleoticus robustus* como la especie con mayor importancia dentro de la dieta de *P. volitans*, encontrándose un total de 23 organismos. A pesar de que las familias más importantes fueron las antes mencionadas, se registraron un total de ocho familias de crustáceos, con un total de 85 organismos presa. El efecto que puede ocasionar *P. volitans* sobre la abundancia de las comunidades de invertebrados nativos, podría llegar a afectar la biodiversidad y por lo tanto, la función de los ya deteriorados arrecifes coralinos (sobrepesca, cambio climático y contaminación etc.) que ya se encuentran en la zona. Lo anterior implica que quizá la resiliencia es insuficiente para soportar esta invasión (Morris

et al., 2013).

Esto también puede verse reflejado en diferentes niveles tróficos, ya que también se encontraron organismos de peces de importancia ecológica como los de las familias Scaridae y Labridae del grupo de los peces. Estas familias ya habían sido reportadas en trabajos anteriores para la zona del Caribe mexicano (Valdez-Moreno *et al.*, 2012; Arredondo-Chávez, 2012; Sánchez-Jiménez, 2013; Zaldívar-Campos, 2013; Villaseñor-Derbez y Herrera-Pérez, 2014 y Torres-Chávez, 2014). La familia Scaridae, conocidos como peces loro o pericos, son peces herbívoros que se alimentan principalmente de algas, controlando su población y evitando con ello que los corales sean cubiertos y mueran (Robertson *et al.*, 2015), al igual que la familia Scaridae, especies de la familia Labridae realizan una función ecológica importante dentro de los ecosistemas, como limpiadoras de ectoparásitos de otros organismos (Nelson, 1994).

De la familia Scaridae se identificaron 10 organismos juveniles de la especie *Sparisoma atomarium*, esta especie ha sido reportada en la zona del centro y sur del Caribe mexicano como parte de la dieta de *P. volitans* (Arredondo-Chávez, 2012; Sánchez-Jiménez, 2013 y Chávez-Torres 2014). *Sparisoma atomarium*, se alimenta de microalgas y macroalgas (Robertson *et al.*, 2015), la disminución de esta especie puede provocar un aumento en la abundancia de microalgas y macroalgas, lo que provocaría mayor recubrimiento algal y reducción de la cobertura coralina. Es importante mencionar que la familia Scaridae no es parte de la dieta de *P. volitans* en la zona de distribución natural (Cure *et al.*, 2012), como anteriormente se mencionó, la presencia de esta familia en la dieta de *P. volitans* puede provocar efectos negativos en la dinámica trófica.

Otra de las familias registradas en la dieta de *P. volitans* en la zona de estudio, fue la familia Pomacentridae, *Stegastes partitus* y *Abudefduf saxatilis* fueron las especies presa identificadas. Quijano-Puerto *et al.* (2013), reportaron para el área del Parque Nacional Arrecife Alacranes al sureste del Golfo de México, a la familia Pomacentridae como la de mayor importancia dentro de la dieta de *P. volitans*. Algunos autores mencionan que la importancia de esta familia en la dieta de *P. volitans* se debe principalmente al desconocimiento de este depredador como amenaza (Kindinger, 2015), y se cree que esto sucede con las especies de otras familias encontradas en la dieta de *P. volitans*, lo cual facilita las capturas de las presas. Al igual que el grupo de los crustáceos se

encontraron ocho familias del grupo de los peces. Aún así, se encontraron más especies de peces, así como mayor cantidad de biomasa que el de el grupo de los crustáceos (Anexo 2 y 5)

El registro total en la cantidad de presas encontradas en la revisión de contenido estomacal de los peces león, tanto de peces como crustáceos, es preocupante, por lo que es fundamental mantener actividades de control y manejo de las poblaciones de la especie invasora. Una estrategia de control es la extracción y comercialización de este depredador. Aunque la a erradicación definitiva de la especie se determina como “imposible”, es fundamental al menos mantener a la población con baja abundancia.

2.6.2 Cephalopholis cruentata

En relación con los hábitos alimenticios para *C. cruentata* en el Caribe mexicano y para la zona del Atlántico en general, no existe información determinante sobre las especies que consume. Los datos reportados se analizan sólo a nivel de grupos que depreda; peces, crustáceos y moluscos principalmente (Robertson *et al.*, 2015). En el presente estudio se colectaron un total de 134 organismos, de los estómagos analizados un alto porcentaje de estómagos se encontraron vacíos (67.91%). De los estómagos con alimento, los grupos que se identificaron en la dieta de *C. cruentata* fueron peces y crustáceos, siendo éstos los principales componentes reportados en la mayoría de las especies de serranidos estudiados (Shpigel y Fishelson, 1989; Giménez *et al.*, 2001; Nakai *et al.*, 2001; Puerto-Novelo *et al.*, 2005 y Hernández *et al.*, 2008).

De acuerdo al índice de frecuencia de aparición la mayoría de las presas son accidentales, por lo que podemos determinar que no existe alguna preferencia por alguna presa. Esto coincide con el índice de Levin, el cual clasifica a la especie como un carnívoro generalista, con un valor de 0.6 en una escala de 1 (Krebs, 1989).

La curva de acumulación de especies mostró un comportamiento asintótico, esto puede deberse a que *C. cruentata* al ser un carnívoro generalista, no presenta preferencia por algún tipo de presas. En trabajos sobre depredadores de la familia Serranidae, las curvas no han alcanzado la asíntota, los autores lo relacionan con el número de estómagos analizados, así como el amplio nicho trófico de las especies estudio (Dierking *et al.*, 2009; Nakai *et al.*, 2001).

Shpigel y Fishelson (1998), realizaron una comparación en tres especies de serranidos, *C. argus*, *C. miniata* y *C. hemistiktos*, encontrando que estas especies, al igual que *C. cruentata*, se alimentan de peces y crustáceos, siendo el grupo de los peces más representativo dentro de su dieta. En el estudio no se realizó análisis trófico, solo se reportaron las presas encontradas en los contenidos de los estómagos. Se reportaron 12 presas para *C. hemistiktos*, 11 para *C. miniata* y 10 para *C. argus*. Además, también registraron a las familias Labridae, Pomacentridae y Gobiidae del grupo de los peces, mismas que se compartieron con la dieta de *C. cruentata*.

Nakai *et al.* (2001) realizaron un estudio para describir la dieta de *C. urodeta*, registraron que se alimenta de peces y crustáceos. En el estudio reportaron un total de 14 familias, siendo las familias Hippolytidae, Galatheidae Palaemonidae, Xanthidae y Pomacentridae las familias de mayor importancia. *Cephalopholis cruentata* compartió ocho familias con la dieta de este depredador (Scaridae, Labridae, Gobiidae, Pomacentridae, Majidae, Portunidae, Palaemonidae y Rhynchocinetidae), cuatro del grupo de los peces y cuatro del grupo de los crustáceos.

Otra de las especies del género *Cephalopholis* analizadas es *C. argus*, para la cual se reportó de acuerdo al %IIR al grupo de los peces como el más importante con un 97.7% y sólo 2.3% para el grupo de los crustáceos. *Cephalopholis argus* presentó un amplio nicho trófico, con un total de 20 familias (16 de peces y 4 de crustáceos), siendo Scaridae, Acanthuridae, Holocentridae, Monacanthidae y Hippolytidae las más importantes (Dierking *et al.*, 2009). En la dieta de *C. cruentata* se encontró al grupo de los crustáceos como el de mayor importancia, siendo las familias Palaemonidae, Gonodactylidae y Majidae, las familias más representativas, mientras que en el grupo de los peces se encontraron las familias Labridae y Scaridae. Es importante mencionar que el grupo de los peces tuvo mayor aportación en cuanto a biomasa, sin embargo, fue imposible la identificación de algunas presas a un nivel taxonómico más bajo, debido al avanzado proceso de digestión. Tanto en la dieta de *C. argus* como en la de *C. cruentata*, se encontraron las familias Scaridae, Labridae, Monacanthidae, Pomacentridae, Portunidae y Rhynchocinetidae, cuatro de ellas del grupo de los peces y dos de crustáceos, la diferencia en las dietas puede deberse a la presencia y abundancia de presas, por lo que, las especies consumidas dependerán de los hábitats donde se encuentren los depredadores.

Para el caso particular de *C. cruentata* en el sitio de estudio, al presentar un amplio nicho trófico puede ser considerado como un depredador generalista, al consumir un importante número de especies de crustáceos y peces. En el estudio se encontró un mayor porcentaje de crustáceos, de acuerdo al índice numérico y de frecuencia de aparición. Mientras que en biomasa los peces fueron las presas más importantes (Anexo 5). Al realizar el índice de frecuencia de aparición el 94% de las presas fueron clasificadas en la categoría de accidentales, esto debido a que no se mostró preferencia por algún tipo de presa. La familia que tuvo mayor importancia relativa fue Palaemonidae, esta familia de crustáceos presenta una alta riqueza en México (Álvarez *et al.*, 2014), que cumplen con una función vital en el equilibrio del ecosistema, al ser limpiadoras de parásitos, asociadas a organismos invertebrados, por lo general, corales y anemonas (Debelius 1983a; Fernández *et al.*, 2012). Dentro de esta familia, el género *Periclimenes* sp. fue el más abundante. Otra de las familias importantes dentro de la dieta de *C. cruentata* fue Gonodactylidae, del orden de los estomatópodos, *Gonodactylus curacaensis* fue la que se encontró presente en la dieta. Los estomatópodos son depredadores carnívoros que se alimentan de diferentes grupos, peces, moluscos, anélidos, crustáceos y otros invertebrados. Pueden llegar a capturar presas de tamaño considerable y al mismo tiempo forman parte de la alimentación de otros organismos carnívoros (Caldwell y Dingle, 1976; Reaka y Manning, 1981 y Hendrickx, 2002), debido a esto, los serranidos se consideran organismos importantes dentro de la red trófica.

Del grupo de los peces, la especie que tuvo mayor importancia fue *Clepticus parrae*, perteneciente a la familia Labridae, siendo la especie con mayor aportación para la dieta de *C. cruentata*. *Clepticus parrae*, conocida comúnmente como “señoritas”, se encuentra asociada al arrecife, se alimentan principalmente de zooplancton y es de las especies con mayor abundancia en arrecifes. A pesar de que *C. cruentata* es un carnívoro generalista, probablemente la composición de su dieta está relacionada directamente con la disposición de alimento en los ecosistemas. Otra de las familias presentes en la dieta fue Scaridae, se identificó el género *Sparisoma* sp., sin embargo, el porcentaje que presentó esta familia en la dieta de este depredador fue bajo, sólo se encontraron tres individuos de este género.

La especie *Carangoides ruber*, de la familia Carangidae, fue una de las especies que presentó mayor importancia en la dieta, es una especie carnívora, que se alimenta de

peces, crustáceos y moluscos. La presencia de juveniles de otros carnívoros nos indica que *C. cruentata* es un depredador generalista, que puede alimentarse de diversas especies, dependiendo de la disposición de las mismas. Los serranidos son uno de los principales grupos de carnívoros depredadores dentro de los arrecifes de coral de todo el mundo, teniendo un papel importante en las comunidades de arrecifes (Goeden, 1982 y Parrish, 1987) ya que se encargan de mantener el equilibrio dentro de las redes tróficas, por lo cual la disminución de estas especies podría causar un desequilibrio dentro de los ecosistemas (Parrish, 1987; Heemstra y Randall, 1993 y Puerto-Novelo *et al*, 2005).

2.6.3 *Lutjanus apodus*

Se ha determinado que las especies que integran la familia Lutjanidae son depredadores activos y que se alimentan principalmente de peces y crustáceos, las presas que consumen estos depredadores dependerán del tamaño de la boca (Santamaría *et al.*, 2005), así como del hábitat donde se encuentren (manglar, pradera de *Thalassia* o en los arrecifes) (Jones *et al.*, 2010). *Lutjanus apodus* pertenece a la familia Lutjanidae y está catalogado como un carnívoro oportunista, que se alimenta de una gran variedad de presas, existen trabajos previos que describen en su dieta grupos como moluscos, crustáceos, peces, entre otros. En el presente estudio, se colectaron 155 organismos. Se encontró 36.77% con presencia de alimento. El grupo de los crustáceos fue el que presentó mayor importancia con el 82.35%, mientras que el 17.65% corresponden a presas de peces. Sánchez (1994) encontró en un estudio en la laguna de Términos en Campeche, que *L. apodus* consume principalmente camarones peneidos y carideos, coincidiendo con los resultados encontrados en la dieta de este depredador en Puerto Morelos. Por su parte Rooker (1995) menciona que la alimentación de *L. apodus* está relacionada con la morfología mandibular de los individuos y observó que debido a esto, los juveniles de *L. apodus* consumían una mayor cantidad de crustáceos pequeños y sipuncúlidos y en etapas adultas se alimentaban de cangrejos, camarones y peces. Hernández *et al.* (2008) reportó para Cuba a los grupos antes mencionados y además reportó el grupo de las algas con los géneros *Agardhiella* y *Jania*, aunque este representó un bajo porcentaje en la dieta. No se encontraron algas en los resultados del presente estudio. Layman y Allgeier (2012) realizaron un estudio en las Bahamas, haciendo una comparación en la dieta de *L. apodus* y *P. volitans*, donde encontraron para la dieta de *L. apodus* valores similares a los reportados en esta investigación en la zona de Puerto

Morelos, encontrando para la dieta de *L. apodus* un 15% de peces y 85% crustáceos. Lo anterior sugiere que *L. apodus* presenta una dieta similar en las diferentes zonas donde se encuentra.

Las familias de peces presentes en la dieta de *L. apodus* fueron Chaenopsidae, Gobiidae y Scaridae. La familia Scaridae fue reportada para la alimentación de *L. apodus* en Cuba (Hernández *et al.*, 2008), y en las Bahamas (Layman y Allgeier 2012), al igual que en el presente estudio. Las presas que tuvieron mayor importancia pertenecieron a la familia Majidae, con la especie *Mithrax fórceps*, cangrejo pequeño que se encuentra en praderas de pastos, arrecifes coralinos, fondos arenosos y manglares (Hernández-Reyes *et al.*, 2001), lo cual coincide con los hábitats donde se encuentra *L. apodus*. Layman y Allgeier (2012) registraron el género *Mithrax* sp. para la Bahamas; la familia Majidae ha sido reportada para otras especies de la familia Lutjanidae, Hernández *et al.* (2008) reportaron a *Mithrax spinosissimus* como el de mayor importancia en la dieta de *L. analis*, por su parte Sierra (2006) determinó que hay cierta semejanza en la dieta de *L. apodus* y *L. analis*.

Otra de las familias que presentó gran importancia en la dieta de *L. apodus* fue Palaemonidae con el género *Periclimenes* sp. la cual representó el 25.82% de la dieta. Esta presa ya había sido reportada en otras zonas como parte de la dieta de *L. apodus* (Sánchez, 1994; Rooker, 1995 y Hernández *et al.*, 2008) Layman y Allgeier (2012) aunque no reportaron el género, si encontraron organismos de la familia Palaemonidae. La familia Solinoceridae, con la especie de camarón *Pleoticus robustus*, en la zona de Puerto Morelos, fue otra de las familias de los crustáceos que presentó gran importancia en la dieta de *L. apodus* la cual aporta un 22.98% de importancia.

Aplicando el índice de Levin, para determinar la amplitud de la dieta. Se obtuvo un valor de 0.57, del 1 determinado, clasificando a la especie como carnívoro generalista, resultado ya reportado para la especie.

De acuerdo al análisis realizado con los datos obtenidos en este estudio nos da un acercamiento a la alimentación de *L. apodus* en la zona de Puerto Morelos, lo cual coincide con estudios reportados en otras zonas del Atlántico, por lo que *L. apodus* no presenta una variación importante a lo largo del Atlántico, en donde predominan los crustáceos.

2.6.4 Scorpaena plumieri

Se colectaron un total de 17 organismos de *S. plumieri*, numero relativo bajo comparado con el número de colecta de las otras 3 especies de estudio. A pesar de que se realizó un fuerte esfuerzo de muestreo no fue posible la colecta de un mayor número de organismos, esto puede deberse a sus hábitos crípticos que hace difícil su visualización y por lo tanto su captura. Sin embargo el número de organismos colectado fue mayor que en trabajos previos (Allen *et al.*, 2006 y García y Contreras, 2011).

En los organismos colectados de *S. plumieri* se encontró un alto porcentaje de estómagos vacíos (70.59%) encontrando alimento en solo cinco del total de estómagos analizados. Estudios previos, han reportado que *S. plumieri* se alimenta principalmente de peces, crustáceos y moluscos (Robertson *et al.*, 2015). En los estómagos con alimento se identificaron un total de seis presas, siendo el grupo de los crustáceos el más frecuente con cuatro taxa (*Gonodactylus curacaoensis*, *Cronius ruber*, *Periclimenes* sp, *Mitrax* sp), se identificó una presa del grupo de los peces (*Haemulon flavolineatum*) y una presa de molusco (*Octopus* sp.). Debido a la cantidad de presas y a que se encontró solo un organismo de cada presa, no fue posible realizar los analices tróficos correspondientes, sin embargo esta información sugiere que la especie se alimenta de tres grupos, y que, al parecer, no presenta preferencia por alguna presa, dado que los seis organismos encontrados fueron de diferentes familias.

2.6.5 Comparación trófica de las cuatro especies

Se encontró una mayor cantidad de biomasa de presas en gramos en *P. volitans* que en los depredadores nativos, mostrando una gran diferencia en la biomasa (Anexo 5). No obstante de la especie *L. apodus* se colectaron la mayor cantidad de individuos (155) sin embargo fue el segundo depredador con menos cantidad de presas, encontrándose la mayoría de los estómagos sin alimento (63.23%). Como previo se mencionó de *S. plumieri* se colectaron 17 organismos y la cantidad de biomasa de presas en los estómagos fue de 6.2 g, con un 70.59 % de estómagos vacíos. El resultado obtenido nos indica la alta capacidad que tiene *P. volitans* en la captura de presas, ya que se encontró un bajo porcentaje de estómagos sin alimento (17.74%), comparado con los depredadores nativos. Esto se refleja en alto porcentaje de estómagos sin alimento y la baja cantidad de presas encontradas en las especies nativas.

En cuanto a la composición de la dieta de los cuatro depredadores; en *P. volitans* se encontraron el mayor número de ítems alimentarios, *S. plumieri* presentó la menor cantidad de ítems, sin embargo cinco de las presas presentes en este depredador se encontraron en las dietas de los otros carnívoros a excepción del genero *Octopus* sp.

A pesar de la diferencia alimenticia de las especies, se encontraron presas comunes, siendo en algunos casos las de mayor importancia. Ejemplo de ello fue *Periclimenes* sp. de la familia Palaemonidae, presente en los cuatro depredadores, aunque la frecuencia y cantidad con la que se encontraron estas presas en los depredadores fue diferente, ya que en *P. volitans* se registraron en el 16.13% de los estómagos analizados, en *L. apodus* en el 3.87% de los estómagos, 5.88% en *S. plumieri* y sólo 2.24% en *C. cruentata*, siendo considerablemente alta la diferencia del número de organismos presa en *P. volitans* con respecto a los otros depredadores.

Debido a que se encontró al género *Periclimenes* sp. con una mayor frecuencia en los estómagos de *P. volitans*, una hipótesis que se plantea es que al ser especies limpiadoras, se aproximan a *P. volitans* para hacer “un servicio de limpieza”, quedando vulnerables y facilitando con ello su depredación (Álvarez *et al.*, 2014). Otra de las familias de crustáceos de importancia en el análisis fue Solenoceridae, la especie *Pleoticus robustus* presentó la mayor importancia dentro de las dietas de *P. volitans* y *L. apodus*, y quedó dentro de las cinco principales para *C. cruentata*, se encontró con mayor frecuencia en los estómagos analizados de *P. volitans* con 8.06% en, 3.87% en *L. apodus* y 1.49% en *C. cruentata*.

Del grupo de los peces las familias Scaridae y Labridae fueron de las más importantes en la dieta de *P. volitans* y *C. cruentata*, es importante mencionar que estas familias tienen una función ecología dentro del arrecife. Los scaridos son peces herbívoros que se alimentan principalmente de algas, evitando con ello que los corales sean cubiertos y mueran (Robertson *et al.*, 2015). Las especies de la familia Labridae son especies limpiadoras que viven en simbiosis con otros organismos, eliminándoles ectoparásitos (Nelson, 1994). Al igual que en las familias de los crustáceos *P. volitans* presentó un mayor porcentaje tanto en número como en biomasa de estas dos familias. En un 8.06 % de los estómagos analizados de *P. volitans* se encontraron a organismos de la familia Scaridae, en los estómagos de *C. cruenta* 2.24% de los estómagos presentaron a esta

familia, mientras que en *L. apodus* sólo se encontró en un estómago, representado el 0.65%. Por consiguiente la proporción de biomasa de esta familia fue mayor en la especie invasora que en los depredadores nativos, este mismo patrón se observó en la familia de los labridos, donde el 4.84% de los estómagos de *P. volitans* presentaron de individuos de esta familia, mientras que en los estómagos de *C. cruentata* sólo se encontró un organismo de esta familia, representando el 0.75%. En la dieta de *L. apodus* la familia Labridae no estuvo presente.

Otra de las familias que se encontró en la dieta de *P. volitans* fue Pomacentridae donde *Stegastes partitus* y *Abudefduf saxatilis* fueron las presas presentes: En *C. cruentata* también se registró la familia, sin embargo, no fue de las familias con mayor importancia, teniendo solo una presa de la especie *Chromis cyanea*, no obstante aunque no existe información sobre las presas de *C. cruentata*, en especies congénéricas se ha reportado un bajo porcentaje de esta familia en sus dietas (Dierking *et al.*, 2009; Tnakai *et al.*, 2001), relacionándolo a la asociación y hábitos territoriales que presentan los Pomacentridos en los sistemas arrecifales, que a la vez les proporcionan refugios evitando que sean vulnerables a la depredación (Beukers-Stewart y Jones, 2004). A pesar del comportamiento territorial de los pomacentridos, en trabajos previos en el Caribe, la familia ha sido reporta como una de las principales familias en la dieta de *P. volitans* (Valdez-Moreno *et al.*, 2012; Arredondo-Chávez, 2012; Sánchez-Jiménez, 2013; Zaldívar-Campos, 2013; Villaseñor-Derbez y Herrera-Pérez, 2014 y Torres-Chávez, 2014). En Arrecife Alacranes, Quijano-Puerto *et al.* (2013) reportaron a la familia Pomacentridae como la de mayor importancia en la dieta de *P. volitans*. Según Kindinger (2015) el comportamiento de *S. planifrons* ante la presencia de *P. volitans* se asemeja al comportamiento que presenta ante un objeto inanimado, por lo que se pensaría que el comportamiento de las otras especies taxonómicamente relacionadas sea similar. Esta conducta ante la presencia de este depredador, puede deberse al poco tiempo de *P. volitans* en la zona, a diferencia de las especies nativas *L. apodus* y *C. cruentata*, las cuales puede identificar como depredadores. Kindinger (2015) menciona que *S. planifrons* presenta un comportamiento de defensa con los depredadores nativos, mostrándose agresivo ante la presencia de *C. cruentata*. Por su parte Layman y Allgeier (2012), sugieren que en las Bahamas, las especies nativas reconocen a *L. apodus* como un depredador, debido a que han coevolucionado a la par, en contraste con *P. volitans*, al

cual no reconocen como amenaza.

En el análisis comparativo utilizando la abundancia de las presas encontradas en los depredadores, se observó que *P. volitans* presenta una mayor similitud con *L. apodus* (28.57%), que con *C. cruentata*, ya comparten un mayor número de presas, principalmente de crustáceos, a diferencia de *C. cruentata* con la que comparte presas del grupo de los peces. La mayor similitud se dio sin embargo, entre los depredadores nativos *C. cruentata* y *L. apodus* con un 30%. Aunque para todos los casos, el porcentaje de similitud es relativamente bajo y menor al 50%. El índice de diversidad de Shannon-Wiener presentó en *C. cruentata* (2.65 bits/ind) un valor mayor que *P. volitans* (2.43 bits/ind.) caso contrario, el índice de Levin en *P. volitans* presentó una mayor amplitud de nicho trófico, esto podría deberse a que el índice de Shannon-Wiener pondera a las especies menos frecuentes, a diferencia del índice de Levin que le da mayor importancia a las especies abundantes. En ambos índices *L. apodus* obtuvo los valores más bajos.

Al realizar una comparación de las dietas de las especies nativas con las categorías de tallas de *P. volitans*, la especie *L. apodus* presenta una mayor similitud con la categoría de los pequeños (1-15 cm), esto se debe a que en ambos casos predomina el grupo de los crustáceos, presentando una menor similitud con tallas grandes. La dieta previamente mencionada en esta categoría, está compuesta principalmente por peces. La comparación entre las tallas de *P. volitans* y los depredadores nativos, es de gran importancia, ya que se observó que tallas pequeñas de *P. volitans* tienen la capacidad de competir por alimento con depredadores nativos adultos, claro ejemplo de ello es que la composición de la dieta de *L. apodus* es de especies de crustáceos al igual que la mayoría de las presas de las tallas chicas del león.

A pesar de que las cuatro especies de depredadores presentan hábitos alimenticios similares, la diferencia radica en la cantidad tanto en peso como en número de organismos que cada especie consume. Si bien, los cuatro depredadores nativos consumen las mismas presas, se ha podido comprobar que *P. volitans*, consume una mayor cantidad de organismos tanto de importancia ecológica como comercial, el porcentaje en la frecuencia de aparición de las presas presentes en los cuatro depredadores, fue mayor en los estómagos de *P. volitans* para todas las especies compartidas, este resultado puede deberse a la relación depredador-presas que se ha

gestado en tiempos evolutivos, a través de miles de años de coevolución. Por el contrario, las especies invasoras modifican la estructura taxonómica y la estructura trófica de los ecosistemas en periodos breves, provocando cambios que pueden llevar a la disminución de las poblaciones nativas, o incluso a la extinción local de las mismas. La invasión del pez león resulta preocupante, ya que sus poblaciones son mayores que los depredadores nativos y como se determinó, se alimenta de una gran variedad de especies, así como la cantidad y frecuencia con la que las depredada es mayor que los depredadores nativos, por lo que es necesario controlar las poblaciones de esta especie, si bien, se establece que la erradicación del pez león es imposible, una alternativa es el consumo de esta especie de peces.

2.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abele, L.G. y W. Kim. 1986. An illustrated guide to the marine decapod crustaceans of Florida. Florida State University. Technical Series. 8 (1): 1-760, parts 1 y 2.
- Albins, M.A. y A.M. Hixon. 2011. Worst case scenario: potential long-term effects of invasive predatory lionfish (*Pterois volitans*) on Atlantic and Caribbean coral-reef communities. Environmental Biology of Fish. DOI 10.1007.
- Allen, T., M. Jiménez y S. Villafranca. 2006. Estructura y categorías tróficas de peces asociados a praderas de *Thalassia testudinum* (Hydrocharitales, Hydrocharitaceae) en el golfo de Cariaco, Estado de Sucre, Venezuela. Investigaciones marinas. 34(2), 125-136.
- Álvarez, F., J.L. Villalobos, M.E. Hendrickx, E. Escobar-Briones, G. Rodríguez-Almaraz, E. Campos. 2014. Biodiversidad de crustáceos decápodos (Crustacea: Decapoda) en México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 85 (Supl.) S208–S219 p.
- Álvarez, F., Villalobos, M.E., Hendrickx, E. Escobar-Briones, G. Rodríguez-Almaraz, y E. Campos. 2014. Biodiversidad de crustáceos decápodos (Crustacea: Decapoda) en México. Revista mexicana de biodiversidad. 85, 208-219 p.
- Arias-González, E.J., C. González-Gándara, J.L. Cabrera, V. Christensen. 2011. Predicted impact of the invasive lionfish *Pterois volitans* on the food web of a Caribbean coral reef. Environmental Research. 111: 917–925 p.
- Arredondo-Chávez, A.T. 2012. Hábitos alimentarios de la especie introducida *Pterois volitans* (Scorpaeniformes) en la región de Xpu-ha, Caribe Mexicano. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 80 p.
- Ávila-Morales, O.G. 2014. Hábitos alimentarios de la especie introducida *Pterois volitans* (Lineaus 1758), en el Parque Nacional Isla Contoy, zona Norte del Caribe Mexicano. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 69 p.
- Beukers-Stewart, B.D. y G.P. Jones. 2004. The influence of prey abundance on the feeding

ecology of two piscivorous species of coral reef fish. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 299:155–184 p.

Cailliet, G.M., M.S. Love y A.W. Ebeling. 1986. *Fishes. A field and laboratory manual on their structure identification, and natural history*. Wadsworth Publishing Company. Belmontn, California. USA.194 p.

Cailliet, G.M., M.S. Love y A.W. Ebeling. 1986. *Fishes. A field and laboratory manual on their structure identification, and natural history*. Wadsworth Publishing Company. Belmontn, California. USA.194 p.

Caldwell, R.L. y H. Dingle.1976. Stomatopods. *Scientifi American*. 23:80-89 p.

Calliet, G.M., M.S. Love y A.W. Ebeling. 1996. *Fishes. A field and laboratory manual on ther structure, identificati3n, and natural history*. Wavelamd Press. EUA. 194 p.

Colwell, R.K., A. Chao, N.J. Gotelli, S.Y. Lin, C. X. Mao, R. L. Chazdon, y J. T. Longino. 2012. Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation, and comparison of assemblages. *Journal of Plant Ecology*. 5:3-21.

Colwell, R.K., C.X. Mao y J. Chang. 2004. Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology*. 85, 2717-2727 p.

C3t3, I. M., S.J. Green, J.A. Morris, J.L Jr. Akins, D. Steinke. 2013. Diet richness of invasive Indo-Pacific lionfish revealed by DNA barcoding. *Marine Ecology Progress Series*. 472:249–256 p.

Cure, K.C.E., T.L. Benkwitt Kindinger, E.A. Pickering, T.J. Pusack, J.L. McIlwain, M.A. Hixon. 2012. Comparative behavior of red lionfish *Pterois volitans* on native Pacific versus invaded Atlantic coral reefs. *Marine Ecology Progress Series*. 467:181–192 p.

Debelius, H. 1983. Grobkrebse im aquarium, 11:Teil: Uber die Gattung Lysmata Aguar. *Terrar.Z.* 36, 105-112 p.

Dierking, J., I.D. Williams y W.J. Walsh. 2009. Diet composition and prey selection of the introduced grouper species peacock hind (*Cephalopholis argus*) in Hawaii. *Fishery Bulletin*. 107(4), 464-476 p.

- Fernández, M., M.I. Lorio, D. Hernández y G. Macchi. 2012. Studies on the reproductive dynamics of *Pleoticus mulleri* (Bate, 1888) (Crustacea, Decapoda, Solenoceridae) of Patagonia, Argentina. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 40(4): 858-871p.
- García, C.B. y C.C. Contreras. 2011. Trophic levels of fish species of commercial importance in the Colombian Caribbean. *Revista de Biología Tropical*. 59(3), 1195-1203 p.
- Green, S. J., J.L. Akins, A. Maljkovi y I.M. Côté. 2012. Invasive lionfish drive Atlantic coral reef fish declines. *PLoS ONE* 7(3): e32596. doi:10.1371/journal.pone.0032596.
- Heemstra, P.C., y J.E. Randall. 1993. *FAO species catalogue, Food and agriculture organization (FAO) of the United Nations, Rome vol. 16: Groupers of the world*. 382 p.
- Hendrickx, M.E. y J. Salgado-Barragán. 2002. Stomatopoda. In *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento*, vol. III, J.J. Morrone Lupi, J.E. Llorente Bousquets y H. Ponce (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 373-400 p.
- Hernández, I., C. Aguilar y G. González. 2008. Tramas tróficas de peces de arrecifes en la región noroccidental de Cuba. I. Contenido estomacal. *Revista de Biología Tropical*. 56(2): 541-555.
- Hernández-Reyes, I.M., J.L. Palazón Fernández, J.A Bolaños Curvelo y J.E. Hernández. 2001. Aspectos reproductivos de *mithrax forceps* (a. Milne-Edwards, 1875) (crustacea: decapoda: majidae) *Ciencias Marinas*. vol. 27, núm. 1, 21-34 p.
- Herrera-Silveira, J.A., B.T. Andueza y H.C. Teulli. 2009. Monitoreo de los manglares de Puerto Morelos. *CINVESTAV-CONANP*, Diciembre 2009. 12 p.
- Humann, P. 2002. *Reef Fish Identification Florida, Caribbean, Bahamas*. New World Publications, Inc 3ra. Edición. 481p.
- Hyslop, E.J. 1980. Stomach contents analysis, a review of methods and their application *Journal of fish biology*. 17(4), 411-429 p.
- Jones, D.L., J.F.Walter, E.N. Brooks y J.E. Serafy. 2010. Connectivity through ontogeny: fish population linkages among mangrove and coral reef habitats. *Marine Ecology Progress*

Series. 401, 245-258 p.

Jones, G.P., M.I. McCormick, M. Srinivasan y J.V. Eagle. 2004. Coral decline threatens fish biodiversity in marine reserves. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 101:8251–8253 p.

Kindinger, T.L. 2015. Behavioral response of native Atlantic territorial three spot damselfish (*Stegastes planifrons*) toward invasive Pacific red lionfish (*Pterois volitans*). *Environmental Biology of Fishes*. 98:487-498 p.

Layman, C. y J. Allgeier. 2012. Characterizing trophic ecology of generalist consumers: a case study of the invasive lionfish in the Bahamas. *Marine Ecology Progress Series*. 448: 131–141 p.

Lönnstedt, O.M. y M.I. McCormick. 2013. Ultimate Predators: Lionfish Have Evolved to Circumvent Prey Risk Assessment Abilities. *PLoS ONE* 8(10): e75781.

McCleery, Ch. 2011. A comparative study of the feeding ecology of invasive lionfish (*Pterois volitans*) in the Caribbean. *Physics Journal of Marine Sciences*. 9: 38-43 p.

Moreno, C.E. 2001. Manual de métodos para medir la biodiversidad. Textos universitarios. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. México. 49 p.

Morris, J.A., J.L. Akins, A. Barse, D. Cerino, D.W. Freshwater S. J. Green R. C. Muñoz C. Paris y P.E. Whitfield. 2009. Biology and Ecology of the Invasive Lionfishes, *Pterois miles* y *Pterois volitans*. *Environmental Biology of Fishes*. 61: 409-414 p.

Morris, J.A., J.L. Akins, A. Barse, D. Cerino, D.W. Freshwater S.J. Green R.C. Muñoz, C. Paris y P.E. Whitfield. 2009. Biology and Ecology of the Invasive Lionfishes, *Pterois miles* y *Pterois volitans*. *Environmental Biology of Fishes*. 61: 409-414 p.

Muñoz, R.C., C.A. Currin, P.E. Whitfield. 2011. Diet of invasive lionfish on hard bottom reefs of the Southeast USA: insights from stomach contents and stable isotopes. *Marine Ecology Progress Series*. 432: 181-193 p.

Nakai, T., M. Sano y H. Kurokura. 2001. Feeding habits of the darkfin hind *Cephalipholis urodeta*

- (Serranidae) at Iriomote Island, southern Japan. *Fisheries Science*. 67, 640-643 p.
- Nelson, J.S., 1994. *Fishes of the world*. Third edition. John Wiley & Sons, Inc., New York. 600 p.
- Parrish, J.D. 1987. The trophic biology of snappers and groupers. In *Tropical snappers and groupers: biology and fisheries management* (J. J. Polovina, S. Ralston, eds.). 405-463 p.
- Pillay, T.V.R. 1952. A critique of the methods of study of food of fishes. *Journal Zoology Society of India*. 4(2): 185-200.
- Pinkas, L., M.S. Oliphant y I.L. Iverson 1971. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in California waters. *California Department of Fish and Game, Fish Bulletin*. 152: 1-105 p.
- Priyadharsini, S., A. Subramaniyan, J. Manoharan y D. Varadharajan. 2013. Food and Feeding Habits of Red Lionfish *Pterois volitans* from Cuddalore Coast, South East Coast of India. *Journal Aquaculture Research Development*. 4: 184 doi:10.4172/2155-9546.1000184.
- Puerto-Novelo, E., E. Pérez-Díaz, X. Rénan y T. Brulé. 2005. Hábitos alimenticios de los juveniles de Cuna Bonaci *Mycteroperca bonaci*, (Pisces: Serranidae) a lo largo de la costa Norte de Yucatán, México. In: *Aquacom Changes In: Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. 56, pp. 307-320 p.
- Quijano-Puerto, L, I. Perera-Chan, A. Aguilar-Perera y A.T. Sulub. 2012. Dieta del pez león rojo, *Pterois volitans*, en el parque nacional arrecife alacranes, sureste del golfo de México. Santa Marta Colombia. *Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. 5-9 p.
- Reaka, M.L. y R.B. Manning 1980. The distributional ecology and zoogeographical relationships of stomatopod Crustacea from Pacific Costa Rica. *Smithsonian Contributions to the Marine Sciences*. 7:1-29 p.
- Robertson, D.R., E.A. Peña, J.M. Posada y R. Claro. 2015. *Peces Costeros del Gran Caribe: sistema de Información en línea*. Version 1.0 Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa, República de Panamá.
- Rooker, J.R. 1995. Feeding ecology of the schoolmaster snapper *Lutjanus apodus* (Walbaum) from southwestern Puerto Rico. *Bulletin Marine Science*. 56(3): 881-894 p.

- Ruiz, F., B.I. Van Tussenbroek y E. Jordán. 1998. Puerto Morelos, Quintana Roo, México. I: Caribbean Coastal Marine Productivity (Caricomp): Coral reef, seagrass, and mangrove site characteristics. En: INE. 2000. Programa de manejo del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. Instituto Nacional de Ecología. México 223 p.
- Sánchez-Jiménez, J.A. 2013. Hábitos alimentarios de la especie introducida *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758) en sitios de Gran Bahía Príncipe y Akumal, zona centro del Caribe Mexicano. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 75 p.
- Sánchez, A.J. 1994. Feeding habits of *Lutjanus apodus* (Osteichthyes: Lutjanidae) in Laguna de Terminos, southwest Gulf of Mexico. *Revista Investigaciones Marinas*. 15(2): 125-132 p.
- Santamaría, M.A. 1998. Hábitos alimenticios y ciclo reproductivo del huachinango, *Lutjanus peru*, (Nichols y Murphy, 1922) pisces: lutjanidae en Guerrero, México, Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, La Paz Baja California, 64 p.
- Santamaría, M.A. 1998. Hábitos alimenticios y ciclo reproductivo del huachinango, *Lutjanus peru*, (Nichols y Murphy, 1922) pisces: lutjanidae en Guerrero, México, Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, La Paz Baja California, 64 p.
- Shpigel, M. y L. Fishelson. 1989. Food habits and prey selection of three species of groupers from the genus *Cephalopholis* (Serranidae: Teleostei). *Environmental Biology of Fishes*. 24(1), 67-73 p.
- Torres-Chávez, P. 2014. Hábitos alimentarios de la especie Introducida *Pterois volitans* (Linnaeus 1758), en las regiones de Banco Chinchorro y X'calak, Áreas Naturales Protegidas del Caribe Mexicano. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 67 p.
- Valdez-Moreno, M., C. Quintal-Lizama, R. Gómez-Lozano, M.C. García-Rivas. 2012. Monitoring an Alien Invasion: DNA Barcoding and the Identification of Lionfish and Their Prey on Coral Reefs of the Mexican Caribbean. *PLoS ONE* 7(6): e36636. doi:10.1371/journal.pone.0036636.

- Villaseñor-Derbez, J.C. y R. Herrera-Pérez. 2014. Brief description of prey selectivity and ontogenetic changes in the diet of the invasive lionfish *Pterois volitans* (Actinopterygii, Scorpaenidae) in the Mexican Caribbean. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*. 9(2): 131-135 p.
- Yasuda, F. 1960. The types of food habitats of fishes assured by stomach contents examinations. *Japanese Society of Scientific Fisheries*. 6 (7): 10 p.
- Zaldivar-Campos, M. 2013. Ecología y biología del pez león (*Pterois volitans*) en Xcalak, zona sur de Quintana Roo. Tesis de licenciatura. División de Ciencias e Ingeniería. Universidad de Quintana Roo. Chetumal, Quintana Roo. 71 p.

CAPÍTULO III. Comparación de las firmas isotópicas de los depredadores *Pterois volitans*, *Scorpaena plumieri*, *Cephalopholis cruentata* y *Lutjanus apodus*.

3.1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha utilizado el método de isótopos estables para determinar la posición trófica de las especies. La razón de isótopos estables de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) representan trazadores ecológicos para evaluar el flujo de nutrientes en los ecosistemas y para estudiar la dieta y las relaciones tróficas en el largo plazo y no sólo de lo que es ingerido en un momento dado. La aplicación de los isótopos estables en los estudios ecológicos inició en la década de los años 1950's, durante la investigación de la composición isotópica de carbono en material vegetal (Lajtha y Marshall, 1994). A partir de este periodo, la técnica ha sido aplicada en una amplia variedad de problemas ecológicos, enfocados principalmente en determinar cómo los organismos incorporan el carbono y el nitrógeno, y como fluyen éstos a través del ecosistema. Proveen además información de la posición trófica de presas y depredadores en los diagramas de tramas tróficas (Bolaño-Martínez, 2009).

Actualmente el uso de técnicas bioquímicas como el análisis de las proporciones isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) en los tejidos, permiten hacer inferencias acerca del alimento asimilado en un periodo de tiempo más largo, dependiendo de la tasa de recambio del tejido que se analice. Esta técnica se basa en el supuesto de que la composición isotópica en los tejidos de un organismo está dada por su dieta, gracias a la acumulación del isótopo más pesado (^{13}C y ^{15}N) y la excreción diferencial del más ligero (^{12}C y ^{14}N) por el organismo, lo que enriquece el tejido del consumidor con el isótopo pesado (De Niro y Epstein, 1981; Peterson y Fry, 1987 y Post, 2002). Las proporciones de $\delta^{15}\text{N}$ predicen por lo general el nivel trófico relativo (Michener y Schell, 1994 y Pinnegar *et al.*, 2002), esto debido a que existe un enriquecimiento significativo que fluctúa entre 2 y 5 ‰ para los valores de $\delta^{15}\text{N}$; mientras que los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en los tejidos de un consumidor refleja la composición del alimento asimilado, más un ligero incremento de 0-1 ‰. Esta señal generalmente es utilizada para distinguir las fuentes primarias de nutrición al nivel de los productores (Vander Zanden *et al.*, 1999).

Una de las principales cualidades del método de isótopos estables es que las proporciones de isótopos de nitrógeno permiten obtener información sobre la posición trófica en la que se ubica un organismo o especie dada; por ejemplo, es posible saber si un animal es omnívoro, herbívoro o carnívoro; además de la distancia trófica que tiene con respecto a la productividad primaria, usada como línea isotópica base (De Niro y Epstein, 1981), lo que puede proveer de información integrada en el tiempo. Por lo anterior, en el presente estudio se determinaron los valores isotópicos de los cuatro depredadores bajo estudio, así como la posición trófica. Se calculó el traslape de nicho isotópico utilizando los isótopos estables de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$, los resultados obtenidos nos permitirán obtener una mejor interpretación de los hábitos alimenticios de los depredadores *Pterois volitans*, *Scorpaena plumieri*, *Cephalopholis cruentata* y *Lutjanus apodus*.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Obtención de muestras.

Los organismos que fueron colectados (tanto presas como depredadores) en el Área Natural Arrecife de Puerto Morelos (ver trabajo de campo de capítulo II). De cada organismo se tomó una muestra de músculo de aproximadamente 4 g, (Kristensen, 2009). Los depredadores fueron seleccionados de acuerdo a su talla y las especies de presas potenciales, se seleccionaron de acuerdo a lo reportado en trabajos anteriores y a su presencia presas en los contenidos del presente estudio. También se tomaron en cuenta diferentes niveles tróficos para la toma de muestras, como productores primarios (algas, manglar, pastos y fitoplancton), herbívoros (peces cirujanos y peces loros), así como otros depredadores del arrecife (meros, pargos, roncós, ardillas etc.) para una mejor explicación de la interacción de la especie invasora *P. volitans* en el contexto de las relaciones tróficas y la conectividad entre los sistemas arrecifal, manglar y praderas de pastos. La mayoría de las muestras fueron tomadas cerca de la zona arrecifal. Las muestras de músculo se conservaron a temperatura de -20°C .

3.2.2 Análisis de Isótopos estables ^{13}C y ^{15}N

Las muestras de músculo obtenidas de los organismos colectados fueron colocadas en un horno de secado a una temperatura de 72 °C durante 48 h. Para eliminar los lípidos de las muestras se colocaron en una solución de metanol-cloroformo 1:1 por un periodo de 24 horas. Posteriormente, las muestras de músculo fueron molidas en un mortero de ágata hasta obtener un polvo fino y homogeneizado, que a su vez fue transferido a viales eppendorf para su almacenamiento. Aproximadamente 1 mg del polvo resultante, fue pesado en una balanza micro analítica (Ohaus, discovery, 0.1 mg de precisión) y colocado en cápsulas de estaño de 8 x 5 mm. Las muestras fueron enviadas al laboratorio de Ciencias de las plantas en la Universidad de Davis, California, para su análisis en el espectrómetro de masas con el fin de cuantificar $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$.

3.2.3 Obtención de los valores isotópicos

El análisis por espectroscopia de masas consiste, en términos generales, en separar y analizar los gases resultantes en un espectrómetro de masas, y cuantificar las abundancias de isótopos estables. La proporción isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ será reportada en notación delta (δ), como partes por mil (‰). La relación isotópica de cada muestra es comparada con una sustancia estándar/patrón. Usualmente se emplea Belmenita de la Formación *PeeDee* para Carbono y Nitrógeno atmosférico de la manera siguiente:

$$\delta^1 \text{ N ó } \delta^1 \text{ C} = \left[\left(\frac{R_m}{R_e} \right) - 1 \right] * 10^3$$

Donde R muestra para $\delta^{15}\text{N}$, es la proporción entre sus isótopos $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$; mientras que para $\delta^{13}\text{C}$ es la proporción.

La estimación del nivel trófico o posición trófica de los peces empleados en este estudio, se realizó a partir de los datos obtenidos de isótopos estables de nitrógeno [($\delta^{15}\text{N}$) Post 2002], como se describe a continuación:

$$N = \lambda + \frac{(\delta^1 N_a - \delta^1 N_b)}{\Delta n}$$

Donde:

: Posición trófica del organismo utilizado como referencia de la base de la cadena trófica en la zona.

n: Valor teórico de enriquecimiento en $\delta^{15}\text{N}$ por nivel trófico (2.75) (Caut *et al.*, 2009).

$\delta^{15}\text{N}_{\text{depredador}}$: Promedio de la determinación de $\delta^{15}\text{N}$ para cada una de las especies de estudio (*Pterois volitans*, *Scorpaena plumieri*, *Lutjanus apodus* y *Cephalopholis cruentata*)

$\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$: Determinación de $\delta^{15}\text{N}$ para la especie utilizada como referencia de la base de la red trófica. La especie que se utilizó como referencia fue *Acanthurus bahianus*, la cual esta reportada en el nivel dos (Randall, 1967; Cocheret de la Morinière *et al.*, 2003), siendo este el de los consumidores primarios.

3.2.4 Análisis estadísticos

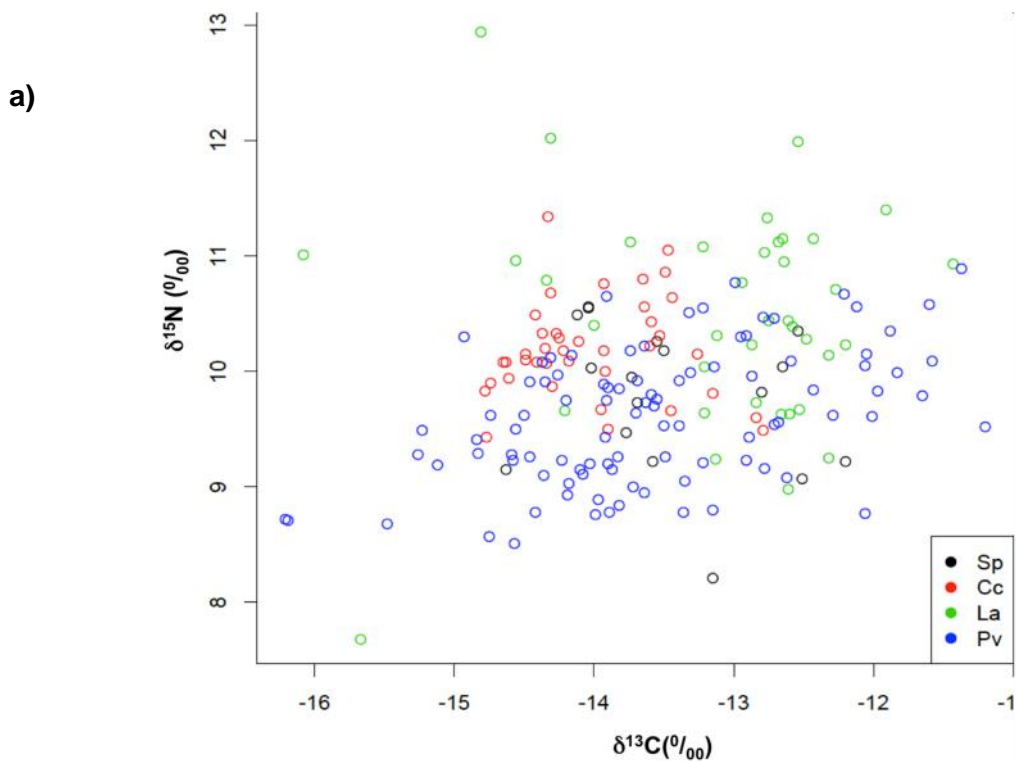
Al conjunto de valores obtenidos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ se se les realizó una prueba de normalidad mediante una prueba Kolmogorov-Smirnov y Lilliefors. Debido a que los datos no presentaron distribución normal se les aplicó análisis estadístico no paramétrico Kruskal-Wallis con el programa Statistica V8, en aquellas comparaciones donde los valores resultaron significativos ($p < 0.05$), se aplicó un análisis *pos hoc* de Tukey-HSD. Se calcularon las medias y error estándar de presas y depredadores. Los datos fueron graficados en el software SigmaPlot 10 y R para una mejor evaluación e interpretación de los resultados.

La amplitud de nicho se calculó por medio de análisis bayesiano, se utilizó SIBER para trazar las elipses estándar (SEAB), que son equivalentes a las desviaciones estándar de dos variables en el análisis univariado (Jackson *et al.*, 2011). SEAB se calcularon siguiendo el método de Jackson *et al.* (2011) y el paquete SIAR del programa R (Parnell *et al.*, 2010).

3.3 RESULTADOS

Se analizaron un total de 364 muestras: las muestras de los cuatro depredadores (*Pterois volitans* = 95, *Scorpaena plumieri* = 17, *Cephalopholis cruentata* = 39 y *Lutjanus apodus* =37), más las muestras de las presas. En total se colectaron un total de 59 especies, adicionales a las especies de estudio.

Los valores isotópicos para *P. volitans* fueron de -16.21 a -11.20 ‰ (media= -13.54± 1.01 ‰) para $\delta^{13}\text{C}$ y 8.51 a 10.89 (media= 9.61 ± 0.57) para $\delta^{15}\text{N}$, *C. cruentata* para $\delta^{13}\text{C}$ -14.78 a -12.79 ‰ (media=-14.02 ± 0.53 ‰) y 9.43 a 11.34 ‰ (media=10.19 ± 0.43‰) para $\delta^{15}\text{N}$, *L. apodus* de -16.08 a -11.43 ‰ (media=-13.04 ± 0.91‰) para $\delta^{13}\text{C}$, 8.98 a 12.94 ‰ (media=10.56 ± 0.84‰) para $\delta^{15}\text{N}$ y *S. plumieri* -14.63 a -12.20 (media= -13.44 ± 0.69 ‰) y 8.21 a 10.56 ‰ (media=9.78 ± 0.65) (Figura 25).



b)

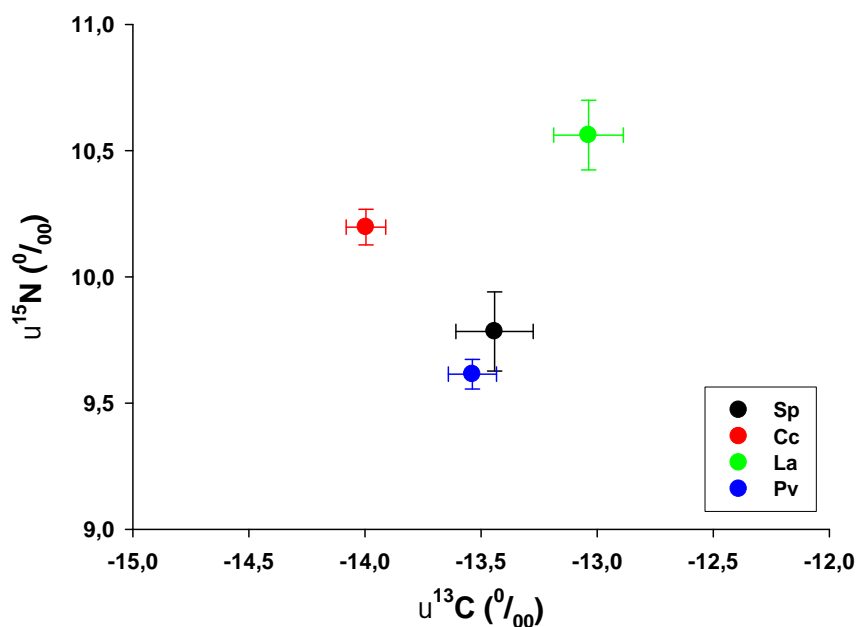


Figura 25. a) Gráfico de dispersión de la relación isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de *P. volitans* (Pv), *S. plumieri* (Sp), *L. apodus* (La) y *C. cruentata* (Cc). b) Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de los depredadores con sus medias \pm SE.

De acuerdo al análisis estadístico Kruskal-Wallis se encontró que *P. volitans* presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) con *C. cruentata* y *L. apodus* para ambos valores isotópicos, $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$. *L. apodus* y *C. cruentata* presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en $\delta^{13}\text{C}$, asimismo se encontraron diferencias significativas entre *S. plumieri* y *L. apodus* respecto a los valores de $\delta^{15}\text{N}$. *P. volitans* y *S. plumieri*, no presentaron diferencias significativas en los valores isotópicos $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$.

3.3.1 Nivel Trófico

Los valores promedio del nivel trófico sugieren que los cuatro depredadores se encuentran en el nivel de los consumidores secundarios. De acuerdo a los promedios de las proporciones isotópicas, el valor menor lo obtuvo *P. volitans* mientras que el mayor *L. apodus* (Figura 26). Aunque los depredadores nativos se situaron ligeramente por arriba del pez león, la diferencia en los valores fue pequeña (~ 0.32) respecto a *L. apodus*, siendo evidente el traslape de nitro trófico entre estos depredadores (Figura 27).

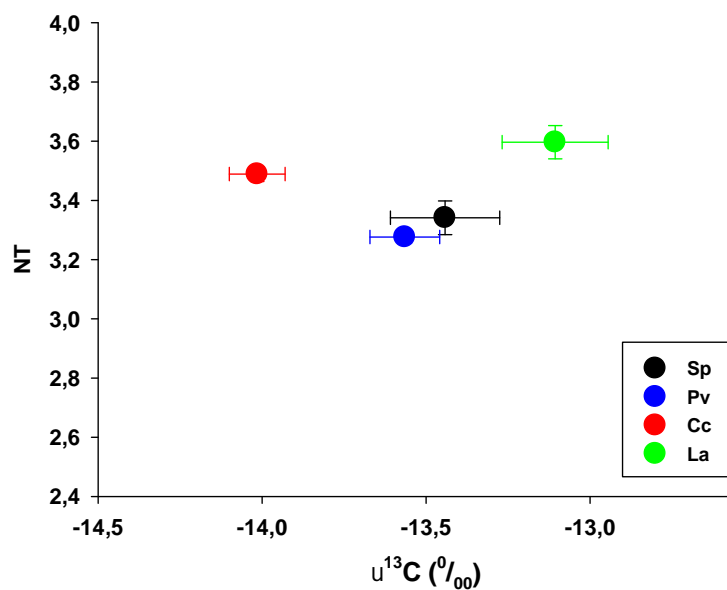


Figura 26. Promedio del Nivel trófico de los depredadores con sus medias (\pm SE) ($Sp=3.34 \pm 0.24$, $Pv= 3.28 \pm 0.21$, $Cc =3.39 \pm 0.16$ y $La=3.6 \pm 0.35$). *P. volitans* (*Pv*), *S. plumieri* (*Sp*), *L. apodus* (*La*) y *C. cruentata* (*Cc*).

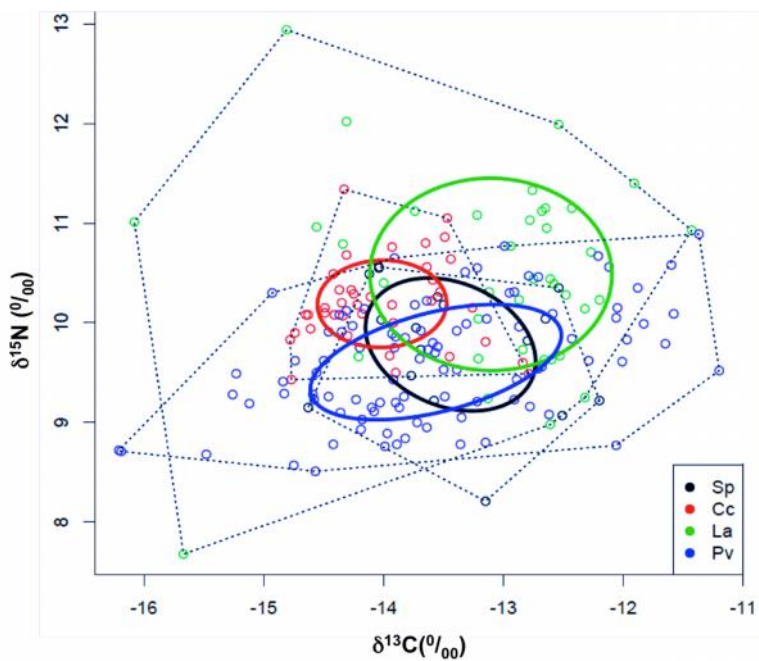


Figura 27. Valores isotópicos de $\delta^{15}N$ y $\delta^{13}C$ para los depredadores. Las líneas discontinuas indican la amplitud total del nicho. El área de las elipses estándar (SEAB) fueron calculados utilizando el método SIBER (Jackson *et al.*, 2011) indicando el traslape de nicho de las especies *P. volitans* (*Pv*), *S. plumieri* (*Sp*), *L. apodus* (*La*) y *C. cruentata* (*Cc*).

3.3.2 Posición trófica de los depredadores de estudio por categorías de tallas.

Se realizó una comparación de los depredadores por tallas, en el caso de *P. volitans* se obtuvieron tres categorías: pequeños, medianos y grandes. Para los tres depredadores nativos se trabajó con dos categorías, medianos y grandes, debido a que no se lograron capturar ejemplares de tallas pequeñas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Media de los valores isotópicos \pm SE por categorías de tallas de los depredadores de estudio. (PvP= *Pterois volitans* pequeños, PvJ = *P. volitans* juveniles, PvA = *P. volitans* adultos, CcJ = *Cephalopholis cruentata* juveniles, CcA = *C. cruentata* adultos, LaJ = *Lutjanus apodus* juveniles, LaA = *L. apodus* adultos, SpJ = *Scorpaena plumieri* juveniles y SpA = *S. plumieri* adultos).

Tallas	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)				$\delta^{15}\text{N}$ (‰)			
	Media	SE	Min	Máx	Media	SE	Min	Máx
PvP	-13,69	0,18	-15,12	-11,37	9,35	0,10	8,51	10,89
PvJ	-13,30	0,17	-16,21	-11,20	9,66	0,08	8,72	10,67
PvA	-13,88	0,19	-16,19	-12,05	9,82	0,12	8,68	10,77
CcJ	-13,97	0,12	-14,77	-12,79	10,06	0,09	9,43	10,86
CcA	-14,06	0,12	-14,78	-12,84	10,36	0,11	9,60	11,34
LaJ	-13,08	0,16	-14,56	-12,20	10,16	0,17	8,98	12,02
LaA	-13,13	0,30	-16,08	-11,43	10,84	0,24	7,68	12,94
SpJ	-13,14	0,28	-14,63	-12,20	9,37	0,23	8,21	10,35
SpA	-13,71	0,15	-14,12	-12,65	10,15	0,13	9,47	10,56

Los individuos que presentaron tallas menores mostraron valores más bajos para el $\delta^{15}\text{N}$ (‰), mientras que los de tallas más grandes tuvieron valores más altos, esto se vio reflejado directamente en el nivel trófico, ya que aunque las diferentes categorías se encontraron en el nivel de los consumidores secundarios, los peces pequeños (en el caso de *P. volitans*) se encontraron ligeramente debajo de los tallas medianas, en el caso de los juveniles de *C. cruentata* y *L. apodus* se encontraron por arriba de los adultos de *P. volitans*. Los individuos adultos de *L. apodus* fueron los que presentaron el valor mayor con respecto a las otras categorías (Figura 28).

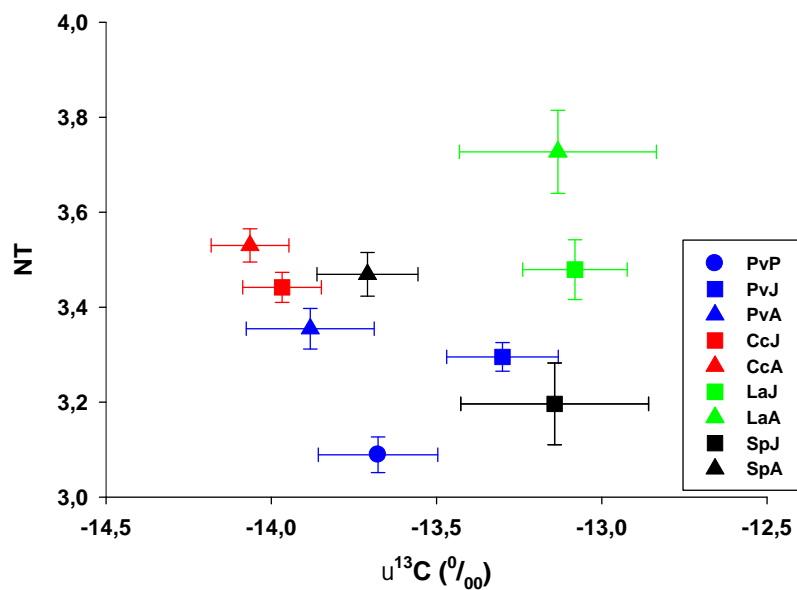


Figura 28. Promedio del nivel trófico (\pm SE) por categoría de tallas de las especies de estudio utilizando los valores del isótopo estable $\delta^{15}\text{N}$.

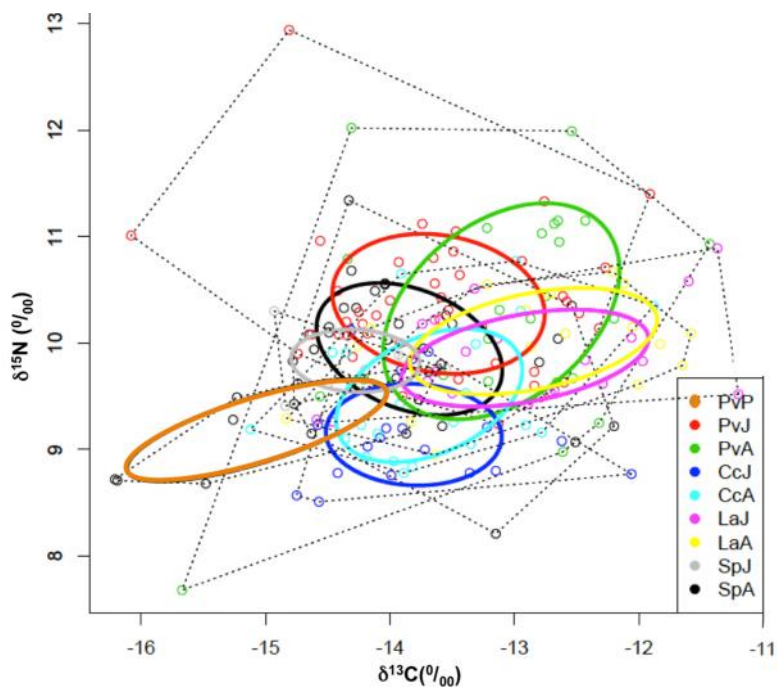


Figura 29. Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para los depredadores por clase de tallas. Las líneas discontinuas indican la amplitud total del nicho. El área de las elipses estándar (SEAB) fueron calculados utilizando el método SIBER (Jackson *et al.*, 2011) indicando el traslape de nicho de las especies.

3.3.3 Comparación de los valores isotópicos de los depredadores y sus presas.

Adicional a las muestras de los depredadores se agregaron las presas reportada en la dieta de *P. volitans* en trabajos anteriores en la zona del Caribe mexicano, así como algunas de las reportadas en este trabajo para una mejor interpretación del comportamiento de este depredador, con respecto a los depredadores nativos.

La señal isotópica para $\delta^{13}\text{C}$ del manglar presentó valores más alejados (media= -29.32 ± 0.08 ‰ SE.), los valores para los productores primarios tanto de pastos marinos como algas oscilaron entre -8.69 a -16.69 (‰), para el $\delta^{15}\text{N}$ el manglar presentó media de 3.75 ± 0.07 SE. Mientras que para los otros productores primarios (algas, pastos y fitoplancton) los valores de las medias oscilaron entre 2.18 a 2.84. Debido a que las presas y depredadores no mostraron relación con la señal isotópica del manglar (Figura 30), los datos se omitieron en las gráficas posteriores para una mejor interpretación.

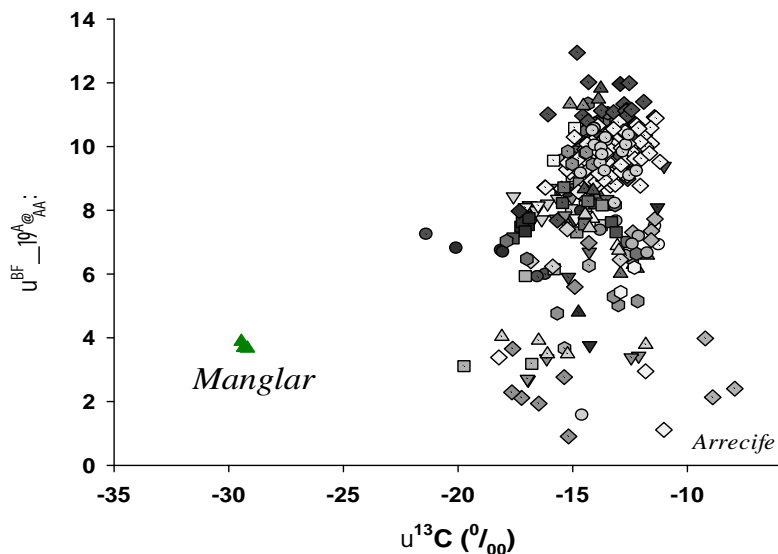


Figura 30. Señal isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ del manglar y señales isotópicas de muestras de arrecife (NT).

Para determinar la procedencia de las presas de los depredadores se analizaron un total de 174 muestras de 59 grupos diferentes. Las muestras obtenidas fueron del grupo de crustáceos y de peces, los datos se agruparon por familias y por especies. Los valores menores de $\delta^{15}\text{N}$ fueron de los productores primarios (Fitoplancton y la familia de algas verdes Udothaeceae), seguido de los corales (Acroporidae, Gorgoniidae) algunas familias de

crustáceos (Majidae, Portunidae) y peces herbívoros (Acanthuridae, Scaridae) (Anexo 5). Los cuatro depredadores se encontraron agrupados con especies de las familias Haemulidae, Holocentridae, Shyraenidae, Muraenidae, Lujtanidae y Serranidae, las cuales están integradas por especies de peces carnívoros (Figura 31, 32). Se obtuvieron tres niveles tróficos, el fitoplancton presentó los valores mas bajos para el $\delta^{15}\text{N}$ (media= 2.28 ± 0.37 ‰ SE) y se encontró en el primer nivel, en el segundo nivel (consumidores primarios) encontramos tanto crustáceos como peces (crípticos y conspicuos), los valores mas altos los presentaron los consumidores secundarios, encontrándose en el tercer nivel. *Bodianus rufus* fue la especie que presentó el valor mas alto en $\delta^{15}\text{N}$ (media= 10.94 ± 1.02 ‰ SE) y por lo tanto se encontró por arriba del total de las especies analizadas (anexo 5).

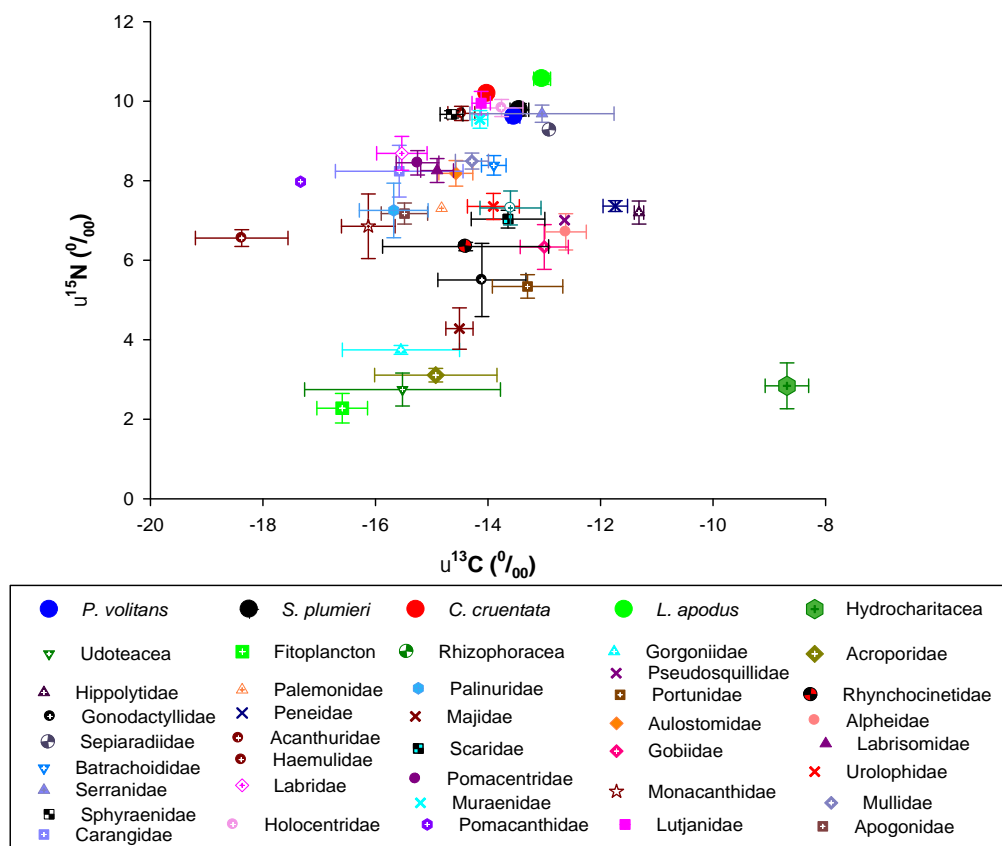


Figura 31. Modelo trófico isotópico para al Área Natural Protegida Arrecife de Puerto Morelos. Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de los depredadores y familias de presas muestreadas de con sus medias \pm SE.

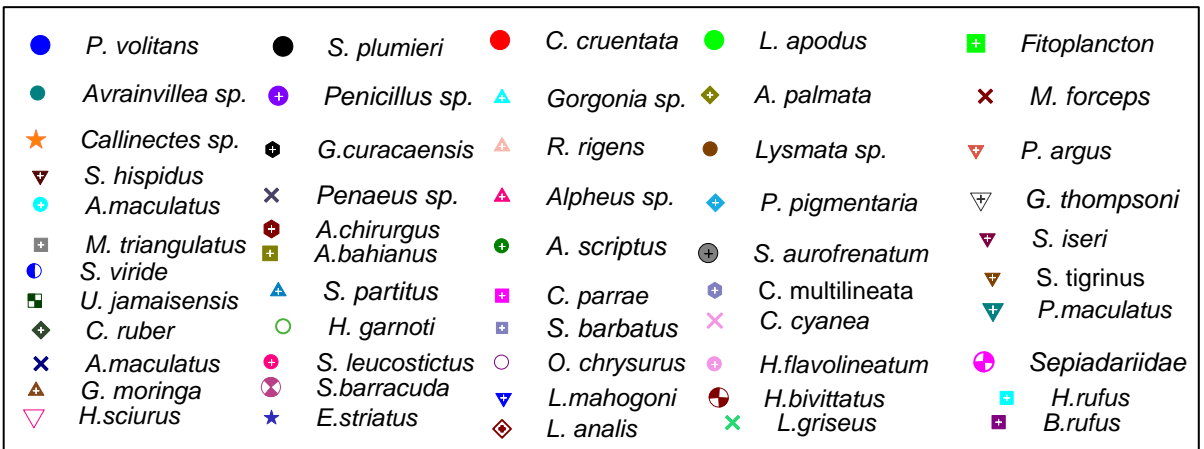
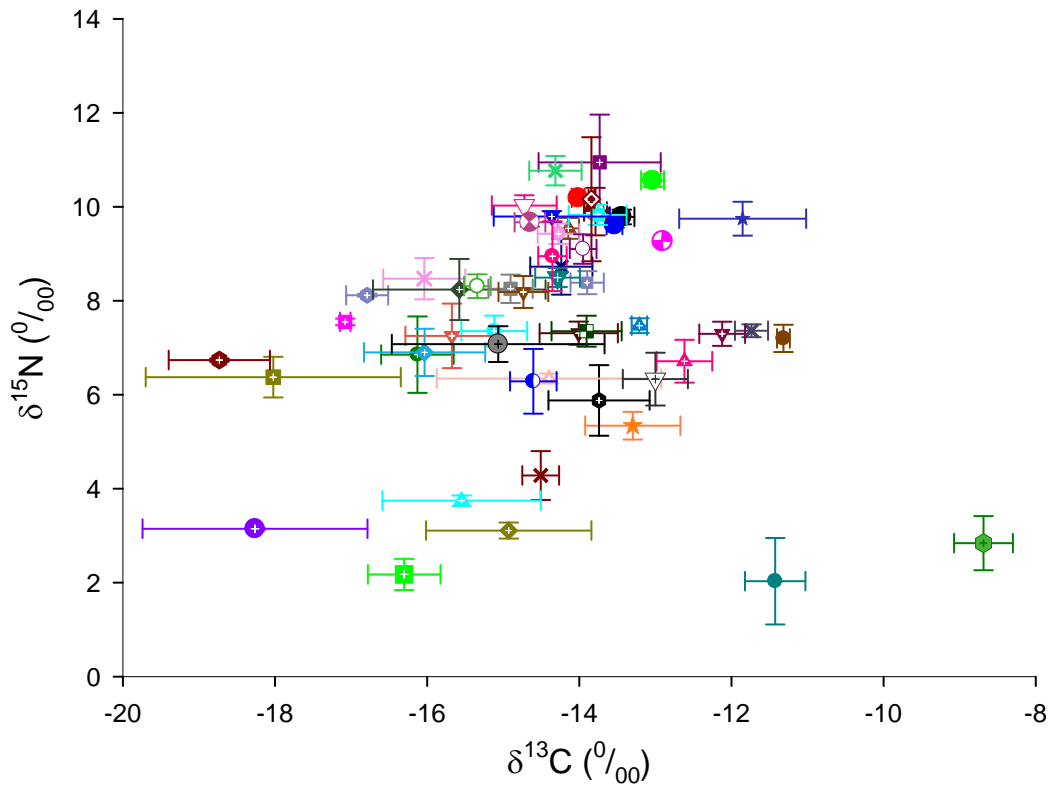


Figura 32. Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de los depredadores *P. volitans*, *C. cruentata*, *L. apodus* y *S. plumieri* y especies de presas muestreadas de con sus medias \pm SE.

3.4 DISCUSIÓN

Las señales isotópicas de los depredadores nativos *C. cruentata* y *L. apodus* estadísticamente presentaron diferencias estadísticamente significativas en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ con *P. volitans*, esto puede deberse a que no todas las especies presa de *C. cruentata*, *L. apodus* y *P. volitans* se comparten, reflejándose en una ligera variación en los valores isotópicos. Con el depredador *S. plumieri*, *P. volitans*, no presentó diferencias estadísticas en la firma isotópica (figura 25), los valores isotópicos encontrados entre estos dos depredadores (*P. volitans* y *S. plumieri*) demuestran un traslape trófico, esto puede deberse, a que estas especies, se alimentan de las mismas presas, ya que presentan características y estrategias de caza similares. De acuerdo a los datos obtenidos de isótopos estables, se podría suponer que la competencia por presas entre estos dos escorpénidos es mayor que a otros depredadores nativos. Considerando la capacidad para la captura de sus presas y la amplitud de su dieta, *P. volitans* representa una amenaza considerable para *S. plumieri*. A pesar de que *P. volitans* presentó diferencias estadísticas con *C. cruentata* y *L. apodus*, en la figura 27 se puede observar un traslape de nicho entre las cuatro especies. Los autores consideran que si los valores son menores a 1°‰ , biológicamente no representan diferencias importantes. Dado que en el presente estudio no se reportaron diferencias mayores a 1°‰ , por consiguiente tenemos que los cuatro depredadores utilizan los mismos recursos. Uno de los impactos que puede provocar el pez león es la disminución de peces de arrecife ya que compite por alimento y por espacio (Arias-González *et al.*, 2011) afectando con ello la red trófica de los habitats donde se encuentra. Muñoz *et al.* (2011), realizaron una comparación de *P. volitans* y cinco especies de las familias Carangidae, Sparidae, Lutjanidae y Haemulidae, obteniendo $-16.6 \pm 0.02 \text{‰}$ de $\delta^{13}\text{C}$ para *P. volitans*, lo cual se encontraba dentro del rango de estos depredadores piscívoros (-16.3 a -17.6‰ $\delta^{13}\text{C}$), determinando una superposición con las especies nativas de esta zona.

Layman y Algeier (2012) en Bahamas, realizaron una comparación de *P. volitans* con dos depredadores nativos de la familia Lutjanidae (*L. griseus* y *L. apodus*). Encontraron diferencias significativas con los valores de *P. volitans* ($\delta^{13}\text{C} -11.8 \pm 0.65 \text{‰}$, $\delta^{15}\text{N} 9.1 \pm 0.38 \text{‰}$) y *L. apodus* ($\delta^{13}\text{C} = -11.4 \pm 0.99 \text{‰}$, $\delta^{15}\text{N} = 9.3 \pm 0.46 \text{‰}$), mencionan que esto se debe a que *P. volitans* se alimenta de peces pequeños y crustáceos, mientras que la dieta

de *L. apodus* fue principalmente de crustáceos. Aun así, encontraron al 98% de los peces león en el nicho isotópico de *L. apodus*. Al igual que en Bahamas, una de las especies con las que se trabajó en este estudio fue *L. apodus*, esta especie presentó valores más enriquecidos en $\delta^{15}\text{N}$ que *P. volitans*, así como valores más negativos que los de *L. apodus*. La diferencia en los valores puede deberse a que en la dieta de *L. apodus* se encontró un mayor porcentaje de presas crustáceas, mientras que en *P. volitans* el grupo de los peces fue más importante. Sin embargo, dado que la diferencia en los valores isotópicos fue menor a 1 ‰ se puede deducir que ambas especies presentan traslape de nicho isotópico.

3.4.1 Posición trófica

El nivel trófico es la posición dentro de una red trófica, desde productores primarios a consumidores, la que posición en la se cuenta un organismo estará determinada según sus hábitos alimenticios (Roman-Reyes, 2005). En el presente estudio, los productores primarios, presentaron valores entre 2.28‰ (fitoplancton) a 3.75 ‰ (manglar) para $\delta^{15}\text{N}$, representando el primer nivel trófico, los valores más altos los presentó la especie *Bodianus rufus* (10.94 $\delta^{15}\text{N}$) del grupo de los peces, encontrándose en el tercer nivel (NT=3.76), mismo nivel en el que se encuentran los depredadores de estudio. Los depredadores del estudio *Pterois volitans*, *Scorpaena plumieri*, *Cephalopholis cruentata* y *Lutjanus apodus*, se encontraron en el nivel de los consumidores secundarios. Muñoz *et al.* (2011) en Florida encontró a *P. volitans* en el tercer nivel, coincidiendo con la posición del pez león en nuestro estudio. *Lutjanus apodus* fue el que presentó el valor más alto en $\delta^{15}\text{N}$, sin embargo, esta especie ha sido reportada en otros sitios en el nivel de los consumidores terciarios (Randall, 1967; García y Camilo, 2011; Ramírez-Palomeque, 2013). Probablemente, la diferencia en la posición trófica, se deba a las presas consumidas en estos sitios, así como a la longitud de los depredadores. *Lutjanus apodus* puede llegar a medir 67 cm (Robertson *et al.*, 2015), al alcanzar estas tallas pueden capturar presas más grandes. En el presente estudio para el análisis de isótopos estables, se utilizaron organismos de 28 a 13.5 cm de longitud, por lo que la diferencia en el nivel trófico puede estar relacionado con el tamaño del depredador, dado que la talla es un factor importante en la selección de las presas, viéndose esto reflejado en el nivel trófico (Rooker, 1995). En Bahamas los valores de $\delta^{15}\text{N}$ para *L. apodus* (Layman y Algellier,

2012) fueron menores que los reportados para el ANP Arrecife de Puerto Morelos. En ambas zonas los crustáceos se encontraron como presas principales, aun así mostraron diferencia en los valores, es importante mencionar que *L. apodus* presentó un enriquecimiento mayor que el de *P. volitans* en los dos sitios, sin embargo la diferencia fue menor a 1 ‰.

O'farrell *et al.* (2014) realizaron en Bahamas una comparación del nicho isotópico de *Epinephelus striatus* y *P. volitans*, encontraron que *P. volitans* presentaba valores ligeramente mayores de $\delta^{15}\text{N}$ que *E. striatus*, reportan una superposición de nicho isotópico, la probabilidad de competencia por recursos entre las especies nativas y *P. volitans* es preocupante ya la presencia de *P. volitans* representa una amenaza adicional a las especies sobreexplotada por las pesquerías debido a la competencia por recursos, lo cual puede llegar afectar aun más sus poblaciones. En la presente investigación se trabajó con una especie de la familia Serranidae, *C. cruentata*, esta especie constituye un importante recurso pesquero, que si bien no es sobreexplotado a nivel de los grandes meros (por ejemplo *E. striatus*), el cambio en sus poblaciones podría provocar un desequilibrio en el ecosistema, ya que aunado a la presión pesquera, la competencia por recursos con la especie invasora sería otro factor importante en la dinámica de las poblaciones de esta especie. *Lutjanus apodus* al igual que *C. cruentata*, es una especie aprovechada en la pesca artesanal, por lo que, el efecto en las dos especies ante la presencia de *P. volitans* puede ser similar.

A diferencia de lo reportado por O'farrell *et al.* (2014) para el depredador *E. striatus*, se encontró a los depredadores nativos con valores ligeramente mayores en $\delta^{15}\text{N}$ que *P. volitans*, sin embargo las cuatro especies estuvieron en el nivel tres (Figura 26), siendo este el de los consumidores secundarios, este resultado coincide con trabajos previos (Randall, 1967; García y Camilo, 2011). *Scorpaena plumieri* fue el más cercano a *P. volitans* tanto en $\delta^{13}\text{C}$ como en $\delta^{15}\text{N}$.

Para corroborar la existencia de un cambio de posición trófica de acuerdo al desarrollo ontogénico, se realizó una comparación por categorías de tallas, encontrando a los peces de tallas menores con valores más bajos para $\delta^{15}\text{N}$, aunque los peces de tallas menores se encuentran en el nivel trófico (figura 28), es evidente el incremento en el nivel trófico en peces con tallas mayores, encontrando a los adultos con valores más enriquecidos en

$\delta^{15}\text{N}$. De los depredadores nativos, sólo se obtuvieron dos categorías de tallas (medianos y grandes), dado que no fue posible la colecta de peces de tallas pequeñas, mientras que para *P. volitans* se obtuvieron tres categorías. Algunos estudios demuestran que la depredación esta relacionada con los tamaños de los consumidores, por lo cual la talla de las presas estará ligada al tamaño del depredador. En el caso de *P. volitans*, en los análisis de contenido estomacal, se observó que los peces de tallas menores se alimentan principalmente de crustáceos, mientras que en peces adultos se encuentra una mayor cantidad de peces (Muñoz *et al.* 2011, McCleery 2011, Arredondo-Chávez, 2012; Layman y Algellier, 2012; Sánchez-Jiménez, 2013 y Torres-Chávez, 2014), por ello, se esperaba que hubiera un cambio en la posición trófica de este depredador en peces adultos con respecto a peces juveniles, que si bien se presenta un incremento en $\delta^{15}\text{N}$, encontramos todos los organismos colectados se mantienen en el nivel de los consumidores secundarios. Este comportamiento coincide con lo reportado en Florida y Bahamas (Muñoz *et al.* 2011 y O'farrell *et al.*, 2014), donde al igual que en el ANP Arrecife de Puerto Morelos no hubo cambio de nivel trófico. Al comparar las categorías de tallas de los depredadores, se determinó que las tallas medianas y tallas grandes de *P. volitans* y *S. plumieri* presentan una superposición trófica mayor a la de *L. apodus* y *C. cruentata*, mostrando un compartamiento similar en ambas categorías. Lo que permite determinar que estas dos especies presentan hábitos alimenticios semejantes y que comparten los mismos hábitats.

Como anteriormente se mencionó, los peces león de tallas pequeñas comparten el mismo nivel trófico que los peces adultos, pudiendo competir por alimento los organismos pequeños de pez león, con tallas grandes de depredadores. Esto se evidencia en la figura 29 donde existe traslape en el nicho isotópico entre todas las categorías de tallas.

3.4.2 Comparación de los valores isotópicos de los depredadores y sus presas

Los valores obtenidos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ sugieren que las presas de las que se alimentan los depredadores se encuentran asociadas a los arrecifes, ya que los datos obtenidos para el manglar fueron más pobres en $\delta^{13}\text{C}$ (-29.33‰), con respecto a las firmas isotópicas de las presas. Las muestras que se analizaron pertenecen al grupo de los crustáceos y peces. Se encontró que *P. volitans* se alimenta de una gran variedad de especies de diferentes

niveles tróficos (de acuerdo a los valores obtenidos en $\delta^{15}\text{N}$), y que el carbono de la dieta de los cuatro depredadores, lo obtienen principalmente de algas bentónicas.

Layman y Algeier (2012) encontraron presas en la dieta de *P. volitans*, con valores $\delta^{15}\text{N}$ que van de 1.7 ‰ (*Mithrax sp.*) a 8.6 ‰ $\delta^{15}\text{N}$ (*Thalassoma bifasciatum*), en el presente estudio, de acuerdo al análisis de contenido estomacal se encontraron presas con valores mayores en $\delta^{15}\text{N}$, siendo *Mithrax fórceps* (4.28‰) la presa del nivel más bajo y *Holocentrus rufus* (9.83‰) con valores mayores en $\delta^{15}\text{N}$. Un dato que es importante resaltar es que *H. rufus* se encuentra en el nivel trófico de los consumidores secundarios al igual que *P. volitans*, evidenciando su capacidad como depredador dentro de los ecosistemas, ya que no sólo consume presas de niveles más bajos, sino que además a especies que se encuentran en la misma posición trófica. En el caso de los depredadores nativos, para *C. cruenta*, la especie *Gonodactylus curacaoensis* fue la más empobrecida en $\delta^{15}\text{N}$ con 5.88 ‰, mientras que la más enriquecida fue *Chromis cyanea* con 8.47‰. De acuerdo al análisis de contenido estomacal, se encontró en *L. apodus* y *P. volitans*, a *Mithrax fórceps* con los valores más empobrecidos (4.28‰ $\delta^{15}\text{N}$) y se encontró un individuo de la familia Scaridae, las especies de esta familia tuvieron un valor promedio de 6.89 ‰ $\delta^{15}\text{N}$, se encontró que los depredadores nativos tuvieron presas más empobrecidas en $\delta^{15}\text{N}$. A diferencia de *P. volitans* en los depredadores nativos no se encontraron presas que se encontraran en la misma posición trófica que los depredadores.

3.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias-González, E.J., C. González-Gándara, J.L. Cabrera y V. Christensen 2011. Predicted impact of the invasive lionfish *Pterois volitans* on the food web of a Caribbean coral reef. *Environmental Research* 111: 917–925.
- Arredondo-Chávez, A.T. 2012. Hábitos alimentarios de la especie introducida *Pterois volitans* (Scorpaeniformes) en la región de Xpu-ha, Caribe Mexicano. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 80 p.
- Bolaño-Martínez, N. 2009. Estructura trófica de las comunidades de peces de arroyos subtropicales y templados: implicancias de la dieta, el tamaño corporal y la temperatura. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. La Paz Baja California Sur. 125 p.
- Cocheret De La Morinière, E., B.J.A. Pollux, I. Nagelkerken, M.A. Hemminga, A.H.L. Huiskes, y G. Van der Velde. 2003. Ontogenetic dietary changes of coral reef fishes in the mangrove-seagrass-reef continuum: stable isotope and gut-content analysis. *Marine Ecology Progress Series*. 246:279-289 p.
- De Niro, M.J. y S. Epstein. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 45:341-351.
- García, C.B., y C.C. Contreras. 2011. Trophic levels of fish species of commercial importance in the Colombian Caribbean. *Revista de Biología Tropical*. 59(3), 1195-1203 p.
- Kristensen, P. 2009. Estudio comparativo de la alimentación en arroyos de llanura templados y subtropicales basado en el análisis de isótopos estables y alimentación de peces. Sammenligning af fødekæder i subtropiske og tempererede lavlandsvandløb baseret på analyser af stabile isotoper og fiskenes fødevalg. Tesis de Maestría. Universidad de Aarhus, Dinamarca (en danés). Tesis de Maestría. Universidad de Aarhus, Dinamarca.
- Lajtha, K. y J.D. Marshall. 1994. Sources of variation in the stable isotopic composition of

- plants. 1-21 p. En: Lajtha K. y R. Michener (eds.). 1994. Stable isotopes in Ecology and Environmental Science. xi-xix p.. Blackwell Scientific Publications, London. 138-157 p.
- Layman, C. y J. Allgeier. 2012. Characterizing trophic ecology of generalist consumers: a case study of the invasive lionfish in the Bahamas. Marine Ecology Progress Series. 448: 131–141 p.
- McCleery, Ch. 2011. A comparative study of the feeding ecology of invasive lionfish (*Pterois volitans*) in the Caribbean. Physics Journal of Marine Sciences. 9: 38-43 p.
- Michener, R.H. y D.M. Schell. 1994. Stable isotope ratios as tracers in marine aquatic food webs. En: Lajtha, K., Michener, R.H. (Eds.), Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 138-157 p.
- Muñoz, R.C., C.A. Currin, P.E. Whitfield. 2011. Diet of invasive lionfish on hard bottom reefs of the Southeast USA: insights from stomach contents and stable isotopes. Marine Ecology Progress Series. 432: 181-193 p.
- O'Farrell, S., S., R.A.R. Bearhop, C.P. McGill, D.R Dahlgren y P.J. Brumbaugh. 2014. Habitat and body size effects on the isotopic niche space of invasive lionfish and endangered Nassau grouper. Ecosphere. 5(10):123. <http://dx.doi.org/10.1890/ES14-00126.1>.
- Peterson, B.J. y B. Fry. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. Annual Review of Ecology and Systematic. 18: 293–320.
- Pinnegar, J.K., S.O. Jennings, M. O'Brien y V.C. Polunin. 2002. Long-term changes in the trophic level of the Celtic Sea fish community and fish market price distribution. Journal of Applied Ecology. 39: 377-390 p.
- Post, D.M. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: Models methods, and assumptions. Ecology. 83: 703–718.
- Randall, J.E. 1967. Food habits of reef fishes of the west Indies. Studies Tropical Oceanography. 5: 665-847 p.

- Robertson, D.R., E.A. Peña, J.M. Posada y R. Claro. 2015. Peces Costeros del Gran Caribe: sistema de Información en línea. Version 1.0 Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa, República de Panamá.
- Rooker, J.R. 1995. Feeding ecology of the schoolmaster snapper *Lutjanus apodus* (Walbaum) from southwestern Puerto Rico. Bulletin Marine Science. 56(3): 881-894 p.
- Sánchez, A.J. 1994. Feeding habits of *Lutjanus apodus* (Osteichthyes: Lutjanidae) in Laguna de Terminos, southwest Gulf of Mexico. Revista Invesigaciones Mainas. 15(2): 125-132.
- Torres-Chávez, P. 2014. Hábitos alimentarios de la especie Introducida *Pterois volitans* (Linneaus 1758), en las regiones de Banco Chinchorro y X'calak, Áreas Naturales Protegidas del Caribe Mexicano. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 67 p.
- Vander Zanden, M.J., B.J. Shuter, N.P. Lester y J.B. Rasmussen. 1999. Patterns of food chain length in lakes: A stable isotope study. American Society of Limnology and Oceanography. 154: 406-416 p.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

4.1 DISCUSIÓN GENERAL

La invasión de *Pterois volitans* ha despertado el interés de investigadores de todo el continente, debido principalmente a su rápida expansión en diferentes hábitats a lo largo de la costa Atlántica de América (Albins y Lyons 2012; Albins, 2013). Se prevé que el pez león provocará impactos detrimentales de especies nativas provocando potencialmente un desequilibrio aun poco calculado dentro de los ecosistemas (Albins y Hixon, 2008; Molina, 2009 y Green *et al.*, 2012). En los últimos años se han tratado de predecir los cambios que tendrá esta especie invasora en los ecosistemas del Caribe mexicano (Arias-González *et al.*, 2011; Valdez-Moreno *et al.*, 2012 y Quijano-Puerto *et al.*, 2013). La competencia con peces carnívoros nativos, es de especial interes, ya que en estudios previos se ha reportado que una de las ventajas que presenta *P. volitans* sobre los depredadores de la zona, es el desconocimiento de las especies nativas sobre la especie invasora (Cure *et al.*, 2012; Layman y Allgeier, 2012), ya que no presentan conductas de defensa ante la presencia de *P. volitans* (Kindinger, 2015).

En el Arrecifes de Puerto Morelos, se realizó la comparación de las dietas de tres depredadores nativos (*C. cruentata*, *L. apodus* y *S. plumieri*) con el pez león (*P. volitans*), para determinar si existe traslape de nicho trófico. Se utilizaron los métodos de análisis de contenido estomacal e isótopos estables, para describir de una manera más detalla la los hábitos alimenticios de estas especies. Como se describe en el capítulo dos, *P. volitans* presentó un alto porcentaje de estómagos con alimento, a diferencia de los depredadores nativos los cuales presentaron un bajo porcentaje de estómagos con alimento.

Pterois volitans presentó una amplitud nicho trófico mayor que las especies nativas, de acuerdo al índice de Levin, lo cual se atribuye a la capacidad de adaptarse a nuevas especies presas y nuevos hábitats (Albins y Lyons, 2012 y Albins, 2013), así como a la facilidad para capturarlas. A pesar de que los depredadores presentaron un alto porcentaje de estómagos vacíos, con los valores obtenidos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ se determinó que las cuatro especies presentan un traslape de nicho trófico (Figura 33).

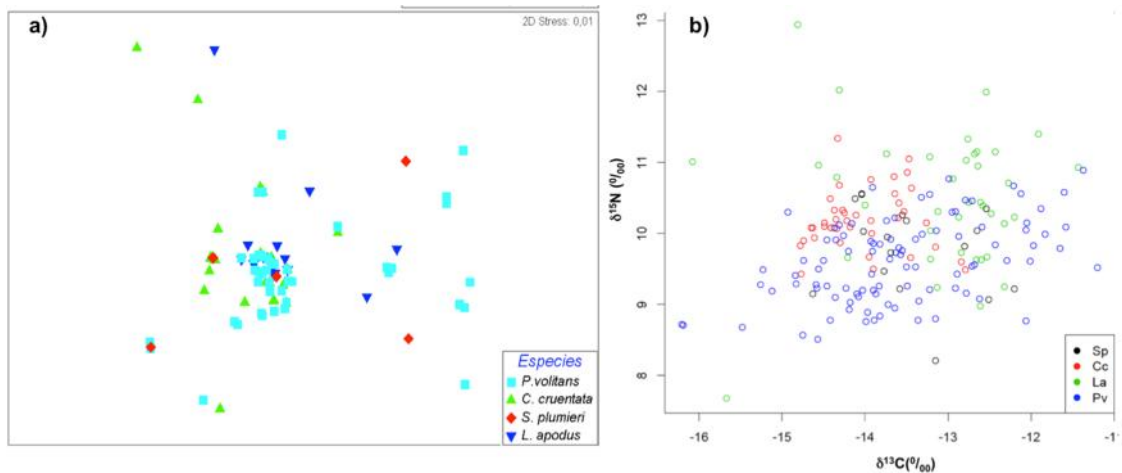


Figura 33. a) Comparación trófica de acuerdo a la abundancia de las presas obtenidas en el análisis de contenido estomacal. b) Gráfico de dispersión de la relación isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de *P. volitans* (*Pv*), *S. plumieri* (*Sp*), *L. apodus* (*La*) y *C. cruentata* (*Cc*).

Considerando que las cuatro especies se alimenten de los mismos recursos, de acuerdo a lo encontrado en los contenidos estomacales y valores isotópicos, se sugiere que existe competencia entre estos depredadores. De acuerdo a los valores $\delta^{15}\text{N}$, las cuatro especies están clasificadas como consumidores secundarios, a pesar de que *S. plumieri* fue el que presentó mayor porcentaje de estómagos vacíos (70.59%), mostró mayor semejanza con la especie invasora *Pterois volitans*, de acuerdo a los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$.

En los contenidos estomacales de *P. volitans*, se identificó una mayor cantidad de presas del grupo de los peces, coincidiendo con trabajos anteriores en la región (Arredondo-Chávez, 2012; Valdez-Moreno *et al.*, 2012; Sánchez-Jiménez, 2013; Zaldívar-Campos, 2013; Quijano-Puerto *et al.*, 2013 y Torres-Chávez, 2014). A diferencia de los depredadores nativos, en los cuales, los crustáceos tuvieron mayor importancia de acuerdo al índice de frecuencia de aparición. Aunque en las cuatro depredadores se encontraron presas de las misma especie, *P. volitans* presentó un mayor número de individuos y biomasa en todas las presas compartidas, evidenciando su capacidad para la captura de organismos. Además de acuerdo a los valores de $\delta^{15}\text{N}$ se encontró que *P. volitans* consume presas de su mismo niveles trófico. Como se ha mencionado en los

capítulos dos y tres, algunas de las presas que depreda el pez león cumplen con funciones vitales en los ecosistemas, por lo que, su disminución puede alterar los procesos naturales, ejemplo de ello son los peces de la familia Scaridae y Labridae, que están integradas por especies limpiadoras, las cuales se alimentan de macroalgas (Robertson *et al.*, 2015), así como especies de camarones limpiadores de la familia Palaemonidae (Fernández *et al.*, 2012; Álvarez *et al.*, 2014). Aunque estas también forman parte de la dieta de los depredadores nativos, la frecuencia en su dieta es considerablemente más baja que en la especie invasora.

De acuerdo a la gama alimentaria encontrada en *Scorpaena plumieri*, *Cephalopholis cruentata* y *Lutjanus apodus*, podemos inferir que *P. volitans* puede ser un fuerte competidor, dado que se alimenta de una mayor variedad de presas, presenta características morfológicas que le permiten camuflarse facilitándole la captura de sus presas. Presenta una reproducción eficiente, facilidad para adaptarse a nuevas zonas, y al momento no se conocen depredadores naturales. Estas características le proporcionan ventajas sobre los depredadores nativos. El éxito del pez león en la zona del Caribe mexicano, puede provocar cambios en la dinámica de los ecosistemas, que si bien no perciben con claridad en la actualidad, estos podrían ser más notorios en el futuro. En las Bahamas, se ha relacionado la disminución de especies de peces juveniles con el establecimiento del pez león (Green *et al.*, 2012). Por lo tanto es necesario continuar con estudios de esta especie, para entender los cambios que a nivel ecosistémico puede provocar a largo plazo en el Caribe mexicano y el gran Caribe. Si bien aun falta información que determine con certeza los cambios, es necesario controlar sus poblaciones, siendo la pesca para el consumo, la principal acción para disminuir a este especie invasora.

4.2 CONCLUSIÓN GENERAL

1. *Pterois volitans* fue la especie que en el estudio presentó el mayor porcentaje de estómagos llenos (82.3%). Por el contrario *Scorpaena plumieri* fue la especie que presentó el menor porcentaje de estómagos llenos (29.41%).
2. En la dieta de las especies se encontró que *P. volitans* y *C. cruentata* tienen un mayor porcentaje de biomasa del grupo de peces, mientras que *L. apodus* del grupo de crustáceos. En los contenidos de *S. plumieri* se encontró una presa del grupo de los moluscos.
3. *Pterois volitans* presentó un mayor número de ítems alimentarios que los depredadores nativos. Se identificaron 16 familias, 21 géneros y 18 especies, predominando el grupo de los peces con un 54.29%.
4. En *C. cruentata* se identificaron 24 artículos alimentarios, representados en 16 familias, 18 géneros y 16 especies, el 28% corresponden a peces y 72% a crustáceos.
5. Para *L. apodus* se identificaron 17 artículos alimentarios, representados en 14 familias, 11 géneros y 7 especies. El 17.65% corresponden a presas de peces, predominando con 82.35% el grupo de los crustáceos.
6. En *S. plumieri* se encontraron seis presas, cuatro del grupo de crustáceos, una perteneciente al grupo de peces y una al grupo de los moluscos.
7. Las curvas de acumulación de especies para *P. volitans*, *C. cruentata* y *L. apodus* no llegaron a la asíntota, siendo necesario la revisión de un mayor número de estómagos para obtener una descripción de la dieta más completa de estas especies.
8. El índice estandarizado de Levin fue mayor para *P. volitans* con un valor de $B_i = 0.74$, para *C. cruentata* fue de $B_i = .60$, *L. apodus* fue el que presentó el valor más bajo con $B_i = .57$. Mientras que el valor mayor para el índice de diversidad de Shannon-Wiener lo presentó *C. cruentata* con 2.65 (bits/ind.), *P. volitans* con 2.19 (bits/ind.) y nuevamente *L. apodus* presentó el valor más bajo con 1.88 (bits/ind.).
9. *P. volitans* y *C. cruentata* tuvieron una mayor similitud en la dieta, las dos especies se alimentan principalmente de peces, mientras que *L. apodus* de crustáceos.
10. Se encontró un cambio en la dieta de *P. volitans* de acuerdo al desarrollo ontogénico, predominando los crustáceos en tallas pequeñas (*Periclimenes*

pedersoni) y los peces adultos (*Sparisoma atomarium*).

11. *Lutjanus apodus* presentó una mayor similitud con la dieta categoría de pequeños, debido a que en ambos casos se alimentan principalmente de crustáceos.
12. Para *P. volitans* Palaemonidae, Solenoceridae y Labridae con 60.39%, 18.78% y 5.94% respectivamente fueron las familias mas representativas de acuerdo al índice de importancia relativa. Para *C. cruentata* Palaemonidae (35.37%) Gonodactyllidae (27.04%), Labridae (9.49%). Mientras que para *Lutjanus apodus* fueron Majidae (26.57%), Palaemonidae (25.82%) y Solenoceridae (22.98%).
13. Los géneros mas representativos de *P. volitans* de acuerdo al índice de importancia fueron *Sparisoma* (4.37%), *Clepticus* (4.3%) y *Stegastes* 3.82%). *Gonodactylus*, *Sparisoma* y *Clepticus* con 41.79%, 10.8% y 7.37% respectivamente para *C. cruentata*. Para *L. apodus* *Pleoticus* (33.5%) *Mitrax* (30.06%) y *Periclimenes* (26.34%).
14. *Pleoticus robustus* (49.28%), *Periclimenes pedersoni* (23.84%), *Sparisoma atomarium* (8.79%) y *Clepticus parrae* (3.88%) fueron las especies mas importantes para *P. volitans*. *Gonodactylus curacaoensis* (28.06%), *Clepticus parrae* (15.78%), *Periclimenes rathbunae* (6.24%) para *C. cruentata*. *Pleoticus robustus* (83.32%), *Mitrax fórceps* (15.91%), *Periclimenes rathbunae* (3.19%) para *L. apodus*.
15. Aunque en la dieta de los cuatro de los depredadores se encontraron presas de la misma familia, *P. volitans* presentó un mayor porcentaje en el índice de importancia relativa en todas las especies presa que compartieron, evidenciando su capacidad de alimentarse.
16. Los depredadores de estudio, *Pterois volitans*, *Cephalopholis cruentata* y *Lutjanus apodus*, presentaron diferencias significativas en los valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$, mientras que con *Scorpaena plumieri* no presento diferencias.
17. *Lutjanus apodus* presentó los valores más altos de $\delta^{15}\text{N}$, mientras que *Pterois volitans* tuvo los valores mas empobrecidos en $\delta^{15}\text{N}$, sin embargo la diferencia fue menor a 1 ‰.
18. Los cuatro depredadores presentaron un traslape de nicho isotópico y se encontraron en la misma posición trófica.
19. La posición trófica de los depredadores no varía de acuerdo a su desarrollo

ontogénico, manteniéndose en el nivel de los consumidores secundarios.

20. De acuerdo a las presas encontradas en la revisión de contenidos estomacales, los depredadores se alimentan de especies de diferentes niveles tróficos.
21. Las presas *P. volitans* presentaron un mayor enriquecimiento en $\delta^{15}\text{N}$ que las de los depredadores nativos, alimentándose de especies que se encuentran en su misma posición trófica. Las presas encontradas pertenecieron a un ecosistema arrecifal, de acuerdo a los valores de $\delta^{13}\text{C}$.

4.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albins, M.A., 2013. Effects of invasive Pacific red lionfish *Pterois volitans* versus a native predator on Bahamian coral-reef fish communities. *Biological Invasions*. 15:29–43 p.
- Albins, M.A. y A.M. Hixon. 2008. Invasive Indo-Pacific lionfish *Pterois volitans* reduce recruitment of Atlantic coral-reef fishes. *Marine Ecology Progress Series*. 367: 233–238 p.
- Albins, M.A. y P.J. Lyons. 2012. Invasive red lionfish *Pterois volitans* blow directed jets of water at prey fish. *Ecology Progress Series*. 448:1–5 p.
- Álvarez, F., J.L. Villalobos, M.E. Hendrickx, E. Escobar-Briones, G. Rodríguez-Almaraz y E. Campos. 2014. Biodiversidad de crustáceos decápodos (Crustacea: Decapoda) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85 (Supl) (2014), pp. S208–S219.
- Arias-González, E.J., C. González-Gándara, J.L. Cabrera, V. Christensen 2011. Predicted impact of the invasive lionfish *Pterois volitans* on the food web of a Caribbean coral reef. *Environmental Research*. 111: 917-925.
- Arredondo-Chávez, A.T. 2012. Hábitos alimentarios de la especie introducida *Pterois volitans* (Scorpaeniformes) en la región de Xpu-ha, Caribe Mexicano. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 80 p.
- Cure, K.C.E., T.L., E. A. Benkwitt Kindinger, T.J. Pickering, Pusack, J.L. McIlwain, M.A. Hixon. 2012. Comparative behavior of red lionfish *Pterois volitans* on native Pacific versus invaded Atlantic coral reefs. *Marine Ecology Progress Series*. 467:181–192.
- Fernández, M., M.I. Lorio, D. Hernández. y G. Macchi. 2012. Studies on the reproductive dynamics of *Pleoticus mulleri* (Bate, 1888) (Crustacea, Decapoda, Solenoceridae) of Patagonia, Argentina. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 40(4): 858-871p.
- Green, S. J., J.L. Akins, A. Maljkovi y I.M. Côté. 2012. Invasive lionfish drive Atlantic coral reef fish declines. *PLoS ONE* 7(3): e32596. doi:10.1371/journal.pone.0032596.

- Green, S.J., J.L. Akins, A. Maljkovi , I. M. Côté. 2012. Invasive lionfish drive Atlantic coral reef fish declines. PLoS ONE 7(3): e32596. doi:10.1371/journal.pone.0032596.
- Kindinger, T.L. 2015. Behavioral response of native Atlantic territorial three spot damselfish (*Stegastes planifrons*) toward invasive Pacific red lionfish (*Pterois volitans*). Environmental Biology of Fishes. 98:487-498 p.
- Layman, C. y J Allgeier. 2012. Characterizing trophic ecology of generalist consumers: a case study of the invasive lionfish in the Bahamas. Marine Ecology Progress Series. 448: 131–141 p.
- Molina, H. 2009. El pez león del Indo-Pacífico: Nueva especie invasora de Costa Rica. Biocenosis. 22: 1-2 p.
- Quijano-Puerto, L, I. Perera-Chan, A. Aguilar-Perera y A. T. Sulub. 2012. Dieta del pez león rojo, *Pterois volitans*, en el parque nacional arrecife alacranes, sureste del golfo de México. Santa Marta Colombia. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. 5-9 p.
- Sánchez-Jiménez, J.A. 2013. Hábitos alimentarios de la especie introducida *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758) en sitios de Gran Bahía Príncipe y Akumal, zona centro del Caribe Mexicano. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 75 p.
- Torres-Chávez, P. 2014. Hábitos alimentarios de la especie Introducida *Pterois volitans* (Linnaeus 1758), en las regiones de Banco Chinchorro y X´calak, Áreas Naturales Protegidas del Caribe Mexicano. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 67 p.
- Valdez-Moreno, M., C. Quintal-Lizama, R. Gómez-Lozano, M.C. García-Rivas. 2012. Monitoring an Alien Invasion: DNA Barcoding and the Identification of Lionfish and Their Prey on Coral Reefs of the Mexican Caribbean. PLoS ONE 7(6): e36636. doi:10.1371/journal.pone.0036636.
- Zaldivar-Campos. M. 2013. Ecología y biología del pez león (*Pterois volitans*) en X´calak, zona sur de Quintana Roo. Tesis de licenciatura. División de Ciencias e Ingeniería. Universidad de Quintana Roo. Chetumal, Quintana Roo. 71 pp.

5. ANEXOS

Anexo 1. Sitios de colecta en el Área Natural Parque Nacional Protegida Arrecife de Puerto Morelos.

Localidad	COORDENADAS						Localidad	COORDENADAS					
	G	M	S	G	M	S		G	M	S	G	M	S
Cuevones		54	48.2	86	49	51.8	Caracol frontal	20	53	19.3	86	50	44.9
Punta Caracol	20	53	27.5	86	50	56.1	Cazones	20	54	8.3	86	50	11.7
Moon palace	20	54	4.9	86	50	53.1	Ollanquitas	20	49	8.9	86	52	45.9
La ceiba	20	51	7.6	86	51	48.9	Ojo luna	20	52	52.1	86	51	36.7
La pared	20	49	28.5	86	52	41.9	Ojo laja	20	52	45.4	86	51	39.5
Red ball	20	49	28.5	86	52	41.8	Olla de mariscos	20	48	59.7	86	52	19.9
Bonanza	20	57	46.3	86	48	32.4	Punta norte	20	59	35.8	86	47	46.7
Lajitas en canal	20	58	38.3	86	48	59.7	Puerto Morelos	20	51	13	86	52	31
Manchones	20	51	13.6	86	51	44.8	Barco hundido	20	51	15.8	86	50	13.4
Muelle bonita	20	54	42	86	50	43.5	Jardín frontal	20	49	52.6	86	52	26.9
Costales	20	54	4.9	86	50	53.1	Jardines	20	49	55.2	86	52	47.6
La bocana	20	52	29.2	86	51	9	Cuevones 2	20	54	39.2	86	50	9.8
Ojo de Agua	20	50	59.75	86	52	23.44	Pared frontal	20	49	23.3	86	52	24.6
Ojo pargo	20	52	48.5	86	51	40.4	Cueva de tiburón	20	52	6.2	86	50	50.2
Muelle fiscal	20	50	29.6	86	52	42.3	Rotman	20	52	28.3	86	51	6.6
Muelle Cid Marina	20	49	41	86	53	22.1	Frante al Hotel Cid	20	49	46.4	86	52	51.2
Ojo "canal"	20	53	37	86	51	8	Picudas	20	52	38.4	86	51	0.5
Limonos	20	59	19.7	86	47	49.6	Luna	20	48	56.5	86	52	31.5
Boya de recalada	20	48	13	86	52	52	Arenal punta brava	20	49	51.7	86	52	27.2
Jardín Frontal	20	49	52.6	86	52	26.9	El volador	20	48	28.7	86	53	2.7
El canalito	20	51	58.9	86	51	0.8	Antena	20	51	40.1	86	54	12.4
Ojo norte	20	53	43.3	86	51	8.6	Oasis	20	48	18.8	86	52	57.2
Ojo machetero	20	56	51.6	86	50	4.1	Fish market	20	48	42.1	86	52	57.1
Tanchete bajito	20	54	11.1	86	50	30.5	Abanicos	20	54	27.9	86	50	3
Cañones	20	58	43.7	86	48	0.4							

Anexo 2. Espectro trófico general de las especies de estudio *Pterois volitans*, *Cephalopholis cruentata* y *Lutjanus apodus* expresado en valores porcentuales (%) de los métodos de Frecuencia de aparición (Fa), Numérico (%N), Gravimétrico (%P) e Índice de Importancia Relativa (%IIR).

ESPECIES PRESA	Pterois volitans				Cephalopholis cruentata				Lutjanus apodus			
	%P	%N	%F	%IIR	%P	%N	%F	%IIR	%P	%N	%F	%IIR
CRUSTACEA												
AMPHIPODA												
GAMARIDAE												
<i>Gammarus</i> sp.									5.74	72.15	13.64	76.94
STOMATOPODA												
GONODACTYLIDAE												
<i>Gonodactylus</i> sp.					1.78	5.41	5.88	5.24				
<i>Gonodactylus curacaoensis</i>					6.22	10.81	11.76	20.83				
<i>Gonodactylus oestedii</i>					0.89	2.70	2.94	1.38				
ISOPODA									0.31	0.46	2.27	0.10

PSEUDOSQUILLIDAE												
<i>Pseudosquilla ciliata</i>	0.07	0.8	1.32	0.13	4.00	2.70	2.94	1.87				
DECAPODA												
PENAEIDAE	0.34	1.6	2.63	0.55					0.62	0.91	2.27	0.21
<i>Methapenaeopsis</i> sp.	0.07	0.8	1.32	0.13								
<i>Metapenaeopsis smithi</i>	0.27	0.8	1.32	0.16	0.56	2.70	2.94	1.33				
SOLENCERIDAE												
<i>Solenocera</i> sp.	0.55	1.6	2.63	0.57								
<i>Pleoticus</i> sp.					0.11	2.70	2.94	1.26				
<i>Pleoticus robustus</i>	5.67	18.4	13.16	29.68	0.67	5.41	2.94	2.59	26.51	4.57	13.64	6.90
RHYNCHOCINETIDAE												
<i>Rhynchocinetes</i> sp.					0.33	2.70	2.94	1.29				
<i>Rhynchocinetes rigens</i>					1.44	2.70	2.94	1.47				
PALAEEMONIDAE									1.25	0.91	2.27	0.26

<i>Palaemonetes pugio</i>					1.00	8.11	8.82	11.33				
<i>Periclimenes</i> sp.	1.00	17.6	13.16	27.86	1.11	8.11	5.88	7.62	7.55	3.65	13.64	4.46
<i>Periclimenes pedersoni</i>	0.89	12.8	9.21	14.23								
<i>Periclimenes rathbunae</i>	0.27	2.4	3.95	1.17	1.33	5.41	2.94	2.69	7.49	0.91	2.27	0.74
CARIDEA	3.07	3.2	3.95	1.88								
ALPHEIDAE												
<i>Alpheus</i> sp.									3.12	0.46	2.27	0.32
<i>Alpheus paracrinitus</i>	0.27	4	3.95	1.92								
PORCELLANIDAE												
<i>Petrolisthes</i> sp.									1.25	0.46	2.27	0.18
<i>Petrolisthes gelathinus</i>					0.44	2.70	2.94	1.31	6.24	0.91	2.27	0.65
MAJIDAE									1.25	0.46	2.27	0.18
<i>Mitrax</i> sp.	0.20	1.6	2.63	0.53	0.22	2.70	2.94	1.28	8.11	4.11	6.82	2.81
<i>Mitrax forceps</i>					1.56	2.70	2.94	1.48	7.49	0.91	4.55	0.90

PORTUNIDAE	0.20	2.4	1.32	0.40					10.61	1.83	9.09	2.12
<i>Callinectes</i> sp.									1.25	2.74	6.82	1.55
<i>Cronius</i> sp.	0.07	0.8	1.32	0.13								
<i>Cronius tumudulos</i>	0.61	1.6	1.32	0.33					3.12	0.46	2.27	0.32
<i>Cronius ruber</i>					0.22	2.70	2.94	1.28				
XANTHIDAE												
<i>Panopeus</i> sp.	0.34	0.8	1.32	0.17					1.25	2.28	2.27	0.50
PERCNIDAE												
<i>Percnon gibbesi</i>									1.87	0.46	2.27	0.23
DIOGENIDAE												
<i>Cancellus</i> sp.					0.20	2.70	2.94	1.27				
PECES												
PERCIFORMES												
CARANGIDAE												

<i>Carangoides ruber</i>					19.89	2.70	2.94	4.35
HAEMULIDAE								
<i>Haemulon flavolineatum</i>	1.78	0.8	1.32	0.34				
<i>Haemulon sciurus</i>	0.27	0.8	1.32	0.16				
APOGONIDAE								
<i>Apogon</i> sp.	0.27	0.8	1.32	0.16				
<i>Apogon maculatus</i>	1.91	1.6	2.63	0.73				
POMACENTRIDAE								
<i>Chromis cyanea</i>					15.78	2.70	2.94	3.70
<i>Abudefduf saxatilis</i>	0.48	1.6	1.32	0.31				
<i>Stegastes partitus</i>	12.36	1.6	2.63	1.98				
<i>Stegastes</i> sp.	1.30	0.8	1.32	0.28				
HOLOCENTRIDAE								
<i>Holocentrus rufus</i>	7.85	0.8	1.32	1.07				

LABRIDAE	0.48	0.8	1.32	0.18									
<i>Clepticus parrae</i>	36.87	1.6	2.63	4.92	27.12	5.41	5.88	9.20					
<i>Halichoeres bivittatus</i>	4.51	0.8	1.32	0.67									
<i>Halichoeres garnoti</i>	9.35	2.4	3.95	2.26									
<i>Thalassoma bifasciatum</i>					6.33	2.70	2.94	2.23					
SCARIDAE	0.61	2.4	1.32	0.45					3.12	0.46	2.27	0.32	
<i>Sparisoma</i> sp.					5.45	8.11	8.82	12.02					
<i>Sparisoma atomarium</i>	3.69	8	5.26	5.49									
CHAENOPSIDAE													
<i>Acanthemblemaria spinosa</i>									1.25	0.46	2.27	0.18	
GOBIIDAE	0.14	0.8	1.32	0.14					0.62	0.46	2.27	0.13	
<i>Priolepis hipoliti</i>	0.34	0.8	1.32	0.17									
<i>Coryphopterus</i> sp.	0.14	0.8	1.32	0.14	0.11	2.70	2.94	1.26					
<i>Gnatholepis thompsoni</i>	1.50	0.8	1.32	0.31									

ACANTHURIDAE						
<i>Acanthurus</i> sp.	2.25	0.8	1.32	0.40		
TETRAODONTIFORMES						
MONACANTHIDAE						
<i>Cantherhines pullus</i>					3.22	2.70 2.94 1.74

Anexo 3. Presas identificadas en la revisión de contenido estomacal de *Scorpaena plumieri*.

Especies presa	Peso (g)	Número	Frecuencia de aparición
MOLLUSCA			
OCTOPODA			
OCTOPODIDAE			
<i>Octopus</i> sp.	0.4	1	1
STOMATOPODA			
GONODACTYLIDAE			
<i>Gonodactylus curacaoensis</i>	0.7	1	1
DECAPODA			
PALAEMONIDAE			
<i>Periclimenes</i> sp.	0.8	1	1
MAJIDAE			
<i>Mitrax</i> sp.	0.4	1	1
PORTUNIDAE			
<i>Cronius ruber</i>	4.8	1	1
PECES			
PERCIFORMES			
HAEMULIDAE			
<i>Haemulon flavolineatum</i>	0.3	1	1

Anexo 4. Espectro trófico general para las categorías de tallas (Chicos (1- 15 cm), medianos (15.1-22 cm), Grandes) para *Pterois volitans*, expresado en valores porcentuales de los métodos de Frecuencia de aparición (Fa), Numérico (%N), Gravimétrico (%P) e Índice de Importancia Relativa (%IIR).

Especies presas/Categorías	CHICOS				MEDIANOS				GRANDES			
	%G	%N	%F	%IIR	%G	%N	%F	%IIR	%G	%N	%F	%IIR
CRUSTACEA												
STOMATOPODA												
PSEUDOSQUILLIDAE												
<i>Pseudosquilla ciliata</i>	0.84	2.22	4.35	0.88								
DECAPODA												
PENAEIDAE	0.84	2.22	4.35	0.88					0.37	2.38	3.85	0.77
<i>Methapenaeopsis sp.</i>					0.36	2.5	3.57	0.95				
<i>Metapenaeopsis smithi</i>									0.37	2.38	3.85	0.77
SOLENCERIDAE												

Solenocera					2.92	5	7.14	3.96				
<i>Pleoticus robustus</i>	5.85	8.89	8.70	6.98	6.20	12.5	10.71	14.37	5.38	33.33	19.23	52.32
PALAEMONIDAE												
<i>Periclimenes sp.</i>	5.52	22.22	21.74	41.00	2.55	27.5	14.29	40.56	0.09	2.38	3.85	0.75
<i>Periclimenes pedersoni</i>	6.69	24.44	13.04	27.31	1.46	10	10.71	11.14	0.09	2.38	3.85	0.75
<i>Periclimenes rathbunae</i>	0.84	2.22	4.35	0.88	0.73	2.5	3.57	0.99	0.09	2.38	3.85	0.75
Caridea	33.44	2.22	4.35	3.62	1.46	5	3.57	1.98	0.09	2.38	3.85	0.75
ALPHEIDAE												
<i>Alpheus paracrinitus</i>	1.67	6.67	4.35	2.57	0.73	5	7.14	3.74				
MAJIDAE												
<i>Mitrax sp.</i>	2.51	4.44	8.70	3.45								
PORTUNIDAE	2.51	6.67	4.35	2.64								

<i>Cronius sp.</i>	0.36	2.5	3.57	0.95				
<i>Cronius tumudulos</i>					0.83	4.76	3.85	1.55
XANTHIDAE								
<i>Panopeus sp.</i>	1.82	2.5	3.57	1.10				
PECES								
PERCIFORMES								
HAEMULIDAE								
<i>Haemulon flavolineatum</i>					2.41	2.38	3.85	0.94
<i>Haemulon sciurus</i>	1.46	2.5	3.57	1.07				
APOGONIDAE								
<i>Apogon sp.</i>					0.37	2.38	3.85	0.77
<i>Apogon maculatus</i>	2.19	2.5	3.57	1.14	2.04	2.38	3.85	0.91

POMACENTRIDAE												
<i>Abudefduf saxatilis</i>	5.85	4.44	4.35	2.11								
<i>Stegastes partitus</i>							16.77	4.76	7.69	4.32		
<i>Stegastes sp.</i>	15.89	2.22	4.35	2.14								
HOLOCENTRIDAE												
<i>Holocentrus rufus</i>							10.66	2.38	3.85	1.60		
LABRIDAE	5.85	2.22	4.35	1.30								
<i>Clepticus parrae</i>					27.74	2.5	3.57	3.76	43.00	2.38	3.85	4.22
<i>Halichoeres bivittatus</i>					24.09	2.5	3.57	3.39				
<i>Halichoeres garnoti</i>									12.70	7.14	11.54	7.70
SCARIDAE	7.53	6.67	4.35	3.06								
<i>Sparisoma atomarium</i>	4.18	2.22	4.35	1.16					4.54	21.43	11.54	20.38

GOBIIDAE	4.01	7.5	7.14	5.91				
<i>Priolepis hipoliti</i>	1.82	2.5	3.57	1.10				
<i>Coryphopterus sp.</i>					0.19	2.38	3.85	0.76
<i>Gnatholepis thompsoni</i>	8.03	2.5	3.57	1.74				
ACANTHURIDAE								
<i>Acanthurus sp.</i>	12.04	2.5	3.57	2.15				

Anexo 5. Número de individuos de las especies de estudio; número y biomasa de las presas encontrados en los estómagos analizados de los depredadores de estudio.

Especie	Depredadores		Contenido estomacal (Presas)							
	#	Biomasa (g)	Total		Peces		Crustáceos		Moluscos	
			Biomasa (g)	#	Biomasa (g)	#	Biomasa (g)	#	Biomasa (g)	#
<i>L. apodus</i>	155	20306.52	44.12	219	3	20.9	216	23.22	0	0
<i>C. cruentata</i>	134	17457.1	104.5	37	10	83.6	27	20.9	0	0
<i>P. volitans</i>	124	14636.46	236.89	125	36	207.1	89	29.79	0	0
<i>S. plumieri</i>	17	6404	6.2	6	1	0.3	4	5.5	1	0.4