



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**ECOLOGÍA TRÓFICA DE *Raja velezi***  
**(CHIRICHIGNO, 1973), EN LA COSTA**  
**OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR,**  
**MÉXICO**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

María del Rosario Simental Anguiano

LA PAZ, B.C.S., DICIEMBRE DEL 2013



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
**ACTA DE REVISIÓN DE TESIS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 07 del mes de Noviembre del 2013 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

**"ECOLOGÍA TRÓFICA DE *Raja velezi* (CHIRICHIGNO, 1973),  
EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"**

Presentada por el alumno:

**SIMENTAL**

**ANGUIANO**

**MARÍA DEL ROSARIO**

Apellido paterno

materno

nombre(s)

Con registro: 

B	1	1	0	3	0	7
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

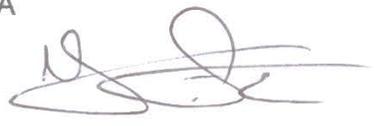
**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

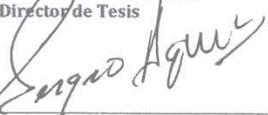
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

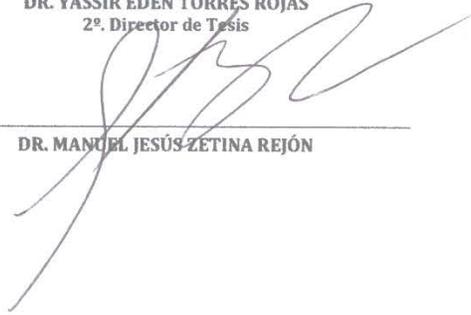
**LA COMISION REVISORA**

Directores de Tesis

  
DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA  
Director de Tesis

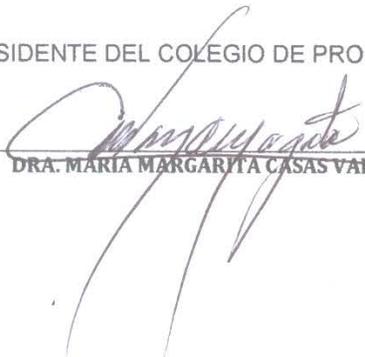
  
DR. YASSIR EDÉN TORRES ROJAS  
2º. Director de Tesis

  
DR. SERGIO AGUÍNIGA GARCÍA

  
DR. MANUEL JESÚS ZETINA REJÓN

  
DR. ROGELIO GONZÁLEZ ARMAS

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

  
DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ



IPN  
CICIMAR  
DIRECCION



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 27 del mes Noviembre del año 2013  
el (la) que suscribe BM. MARÍA DEL ROSARIO SIMENTAL ANGUIANO alumno(a) del  
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS  
con número de registro B110307 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS  
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:  
DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA Y DR. YASSIR EDÉN TORRES ROJAS  
y cede los derechos del trabajo titulado:

"ECOLOGÍA TRÓFICA DE *Raja velezi* (CHIRICHIGNO, 1973)

EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: rosario.simental@gmail.com - galvan.felipe@gmail.com - yassirtorres@gmail.com  
Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BM. MARÍA DEL ROSARIO SIMENTAL ANGUIANO

*nombre y firma*

## **AGRADECIMIENTOS:**

Al Instituto Politécnico Nacional (IPN) y al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) por darme la oportunidad de formar parte de su comunidad estudiantil.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) por los apoyos económicos y académicos brindados.

Al proyecto “Ecología trófica de las rayas de importancia comercial en la costa occidental de Baja California Sur” del Dr. Felipe Galván Magaña de CICIMAR-IPN, por el apoyo otorgado para la obtención de muestras biológicas.

Al Dr. Felipe Galván Magaña por todo su apoyo, confianza y aprecio con el que siempre trata a sus alumnos, haciéndonos sentir que somos parte de su familia.... Se le quiere “Doc”

Al Dr. Yassir Edén Torres Rojas, por su amistad y confianza brindada, porque a pesar de la distancia esta para aplaudir o regañar si es necesario... Gracias plebe!!

A los miembros de comité de revisión de la tesis, Dr. Felipe Galván Magaña, Dr. Yassir Edén Torres Rojas, Dr. Sergio Aguíñiga García, Dr. Manuel Jesús Zetina Rejón y Dr. Rogelio González Armas, por el tiempo dedicado a la tesis, sus comentarios tan acertados y la revisión de manuscrito, que hicieron que se enriqueciera la tesis.

A C.P. Humberto Ceseña Amador y Cesar Casas Núñez por toda su ayuda en todo el “papeleo” que es tan importante y tedioso, sobre todo por la paciencia brindada.

A toda la familia y amigos por su apoyo y comprensión en momentos de histeria.

“Gracias a todos, porque de cada uno he aprendido algo bueno o malo.”

## ÍNDICE

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>I</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>III</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>IV</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>VII</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>4</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>4. HIPÓTESIS.....</b>	<b>10</b>
<b>5. OBJETIVO.....</b>	<b>10</b>
5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
<b>6. ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>11</b>
<b>7. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
7.1 DATOS GENERALES Y TAMAÑO DE MUESTRA.....	13
7.2 REPRESENTATIVIDAD Y HOMOGENEIDAD BIOQUÍMICA.....	15
7.3 ESPECTRO TRÓFICO.....	16
7.4 AMPLITUD Y TRASLAPPO TRÓFICO.....	18
7.5 POSICIÓN TRÓFICA.....	20
<b>8. RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
8.1 DATOS GENERALES Y TAMAÑO DE MUESTRA.....	22
8.2 REPRESENTATIVIDAD Y HOMOGENEIDAD BIOQUÍMICA.....	27
8.3 ESPECTRO TRÓFICO.....	31
8.4 AMPLITUD Y TRASLAPPO TRÓFICO.....	37
8.5 POSICIÓN TRÓFICA.....	48
<b>9. DISCUSIÓN.....</b>	<b>50</b>
<b>10. CONCLUSIONES.....</b>	<b>59</b>
<b>11. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>60</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.- Vista dorsal de <i>Raja velezi</i> .	5
Figura 2.- Ubicación del campo pesquero Punta Lobos, Baja California Sur, México y diagrama general de circulación en el Pacífico Norte	12
Figura 3.- Histograma de frecuencia de organismos de <i>Raja velezi</i> muestreados en cada mes de muestreo en el campo pesquero Punta Lobos, B.C.S.	22
Figura 4.- Histograma de frecuencia de longitud total (cm), para machos y hembras de <i>Raja velezi</i> muestreados en el campo pesquero Punta Lobos, B.C.S.	23
Figura 5.- Clasificación de los estómagos de <i>Raja velezi</i> de acuerdo al porcentaje de llenado	25
Figura 6.- Número de especies presas de <i>Raja velezi</i> , en cada una de las categorías de estados de digestión	25
Figura 7.- Curva acumulada de especies presas de <i>Raja velezi</i> .	27
Figura 8.- Curva acumulada de especies presas de hembras (a) y machos (b) de <i>Raja velezi</i> .	28
Figura 9.- Curva acumulada de especies presas de juveniles (a), adultos (b) e indeterminados (c) de <i>Raja velezi</i> .	29
Figura 10.- Relación C:N v/s $\delta^{13}\text{C}$ (a) y $\delta^{15}\text{N}$ (b) de <i>Raja velezi</i> en Punta Lobos, Baja California Sur.	30
Figura 11.- Espectro trófico general de la raya <i>Raja velezi</i> expresado en los valores porcentuales del método numérico (%N), método gravimétrico (%G) y el método de frecuencia de aparición (%FA).	33
Figura 12.- Distribución de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en musculo dorsal de <i>Raja velezi</i> en el campo pesquero de Punta Lobos, Baja California Sur.	34
Figura 13.- Espectro trófico de hembras y machos de <i>Raja velezi</i> en Punta	37

Lobos, Baja California Sur, expresado en porcentajes del índice de importancia relativa (%IIR).

- Figura 14.- Espectro trófico de *Raja velezi* durante los diferentes estadios de madurez (juveniles, adultos e indeterminados) expresado en los valores porcentuales del Índice de Importancia Relativa (%IIR). 39
- Figura 15.- Valores de amplitud trófica, obtenidos a partir del índice de Levin. 40
- Figura 16.- Valores promedio y desviación estándar de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de *Raja velezi* por sexo. 42
- Figura 17.- Valores promedio y desviación estándar de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de *Raja velezi* por estadios de madurez. 42
- Figura 18.- Valores promedio y desviación estándar de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de *Raja velezi* por meses 43
- Figura 19.- Valores promedio y desviación estándar de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de *Raja velezi* por años 43
- Figura 20.- Similitud de dieta (traslapo trófico) de las hembras y machos de *Raja velezi* de acuerdo con Newsome *et al.*, (2006). 44
- Figura 21.- Similitud de dieta (traslapo trófico) de juveniles, adultos e indeterminados de *Raja velezi* de acuerdo con Newsome *et al.*, (2006). 45
- Figura 22.- Similitud la dieta (traslapo trófico) de *Raja velezi* entre meses, de acuerdo con Newsome *et al.*, (2006). 46
- Figura 23.- Similitud (traslapo) de la dieta de *Raja velezi* entre años, de acuerdo con Newsome *et al.*, (2006). 47

## LISTA DE TABLAS

Tabla I.- Número de estómagos de <i>Raja velezi</i> , analizados en cada mes de muestreo	24
Tabla II.- Número de músculos de <i>Raja velezi</i> , analizados en cada mes de muestreo.	26
Tabla III.- Espectro trófico de <i>Raja velezi</i> , en Punta Lobos, Baja California Sur	32
Tabla IV.- Valores isotópicos de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) y nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ) de las presas de <i>Raja velezi</i> en Punta Lobos, Baja California Sur.	34
Tabla V.- Porcentaje del aporte isotópico de las presas en la dieta de <i>Raja velezi</i> entre meses, al 95%, según MixSir.	35
Tabla VI.- Espectro trófico de las hembras (H) y machos (M) de <i>Raja velezi</i> en Punta Lobos, Baja California Sur.	36
Tabla VII.- Espectro trófico de los organismos juveniles (J), adultos (A) e indeterminados (I) de <i>Raja velezi</i> en Punta Lobos, Baja California Sur.	38
Tabla VIII.- Valores de amplitud trófica calculados para <i>Raja velezi</i> a partir de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (Bearhop <i>et al.</i> , 2004), en Punta Lobos, Baja California Sur.	41
Tabla IX.- Valores de posición trófica calculados para <i>Raja velezi</i> en Punta Lobos, Baja California Sur.	49

## GLOSARIO

**Amplitud de dieta:** Selección de la dieta con respecto a un número potencial de tipos alimenticios (Gerking, 1994).

**Depredador especialista:** Organismo que utiliza un número bajo de recursos y presenta mayor preferencia por algunos componentes alimenticio en particular (Gerking, 1994).

**Depredador generalista:** Organismo que utiliza una gran variedad de recursos alimenticios sin ninguna selección alimenticia (Gerking, 1994).

**Depredador oportunista:** Organismo que incluye en su dieta una variedad de recursos que se encuentran disponibles en su hábitat trófico (Gerking, 1994).

**Enriquecimiento isotópico:** Término utilizado para referirse a un tejido que tiene valores  $\delta$  más positivos que su dieta (Martínez del Rio *et al.*, 2009).

**Espectro trófico:** Total de componentes alimenticios de la dieta de un organismo (Day *et al.*, 1989)

**Hábitos alimentarios:** Descripción detallada del alimento que es ingerido recientemente por los organismos (Harvey y Kitchell, 2000).

**Isótopo:** Término químico proveniente de los sufijos griegos “-iso: igual y topo: lugar. El término se aplica a los átomos (estables o inestables) del mismo elemento con el mismo número de protones y electrones pero diferente número de neutrones. Los isótopos se distinguen por la masa atómica, suma de protones y neutrones (Criss, 1999).

**Isótopo estable:** Isótopo que posee gran energía de enlace que no permite que el núcleo sea separado en sus partículas individuales, y a la razón  $n/z+$  que debe ser aproximadamente inferior a 1-1.5 (Criss, 1999).

**Nicho ecológico:** Describe el papel funcional de una especie o población en el ecosistema (Hutchinson, 1957).

**Nicho trófico:** Describe la posición trófica y el espectro de los consumidores en las redes tróficas (Chen *et al.*, 2010).

**Posición trófica:** Posición en la que se encuentra un determinado organismo en la cadena trófica, dicha posición está clasificado mediante la manera por la cual obtiene su energía (Gerking, 1994).

**Traslapo trófico:** Uso compartido de recursos por dos especies, sexos o poblaciones. Este traslape no necesariamente se encuentre relacionado directamente con la competencia (Wootton, 1990).

**$\delta^{13}\text{C}$ :** Relación isotópica de  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  expresada en partes por mil sobre un estándar (pee dee belemnite) (Rau *et al.*, 1990).

**$\delta^{15}\text{N}$ :** Relación isotópica de  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  expresada en partes por mil sobre un estándar ( $\text{N}_2$  atmosférico) (Rau *et al.*, 1990).

## RESUMEN

*Raja velezi*, es un batoideo de interés pesquero en Baja California Sur (B.C.S.); sin embargo, actualmente se encuentra catalogada en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, como “deficiente de información”, desconociéndose su importancia a nivel ecológico. En este contexto, en el presente estudio se planteó determinar la ecología trófica de *R. velezi* en la costa occidental de B.C.S., mediante la técnica de contenido estomacal y el uso de las razones de isótopos estables de carbono ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C} - \delta^{13}\text{C}$  -) y nitrógeno ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N} - \delta^{15}\text{N}$  -). Para lo cual, se obtuvo muestras de organismos provenientes de la pesquería artesanal del campo pesquero Punta Lobos, B.C.S., durante marzo-julio del 2011 y 2012. Para la técnica de contenido estomacal, se analizaron 59 estómagos, donde, de acuerdo con la curva de diversidad acumulada de especies presas, 21 estómagos eran representativos para caracterizar la dieta (CV=0.046). Por otra parte, para los análisis de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , se utilizaron 67 biopsias de músculos, obteniendo relaciones de Carbono:Nitrógeno entre 2.4 y 2.9, encontrándose a la mayoría entre los valores teóricos de proteínas puras. El espectro trófico se constituyó de 15 especies presas (2 crustáceos, 2 cefalópodos y 11 peces), siendo el pez *Pronotogrammus multifasciatus* la presa principal (%IIR = 41.067) y el pez *Vinciguerria lucetia*, la presa que más aportó isotópicamente a la dieta (70 – 79.3 %). Al realizar los análisis para la amplitud trófica mediante contenido estomacal, se obtuvo un valor de  $B_i = 0.631$ ; mientras que por medio de razones isotópicas, se observó una variabilidad en  $\delta^{13}\text{C} -17.33 \pm 0.32\text{DE}$  y en  $\delta^{15}\text{N} 17.93 \pm 0.37\text{DE}$ . Asimismo, al realizar los análisis para similitud de dieta, se observó una alta similitud, tanto entre sexos ( $R_{\text{global}} = -0.001$  con un  $p = 44.7\%$ ;  $\delta^{13}\text{C}$ :  $H_{(2, 66)} = 2.7$ ,  $p = 0.03$ ;  $\delta^{15}\text{N}$ :  $H_{(2, 66)} = 0.2$ ,  $p = 0.9$ ); como entre estadios de madurez ( $R_{\text{global}} = 0.064$ ,  $p = 2.5\%$ ;  $\delta^{13}\text{C}$ :  $H_{(2, 66)} = 0.3$ ,  $p = 0.9$ ;  $\delta^{15}\text{N}$ :  $H_{(2, 66)} = 0.7$ ,  $p = 0.7$ ). En relación con la posición trófica, se observa una mayor posición trófica mediante la dieta (PT=  $4.67 \pm 0.519\text{DE}$ ), que mediante  $\delta^{15}\text{N}$  (PT=  $3.33 \pm 0.100\text{DE}$ ). Concluyendo que *Raja velezi*, es una especie con una plasticidad trófica; la cual, al alimentarse de presas de distintas posiciones tróficas, puede adoptar posiciones tróficas de carnívoro secundario o terciario.

## ABSTRACT

*Raja Velezi* is a batoids, caught in the Baja California Sur (B.C.S.) fishery. However, currently it is listed on the Red List of the International Union for Conservation of Nature, as "information deficient", not knowing its importance at the ecological level. In this context, this study determined the trophic ecology of *R. velezi* on the west coast of B.C.S., by using stomach contents technique and stable isotope ratios of carbon ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C} - \delta^{13}\text{C}$ -) and nitrogen ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N} - \delta^{15}\text{N}$ -). Samples were obtained from the artisanal fishery of the fishing camp Punta Lobos, B.C.S., during March-June 2011 and 2012. 59 stomachs were analyzed, where, according to the cumulative diversity curve of prey species, 21 stomachs were representative for characterizing the diet (CV = 0.046). Moreover, for the  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  analyzed 67 muscle biopsies were processed, obtaining carbon:nitrogen ratios of 2.4 to 2.9, finding the majority between the pure protein theoretical values. The trophic spectrum was constituted by 15 prey species (2 crustaceans, 2 cephalopods and 11 fish), being the fish *Pronotogrammus multifasciatus* the main prey (% IRI = 41.067) and the fish *Vinciguerria lucetia*, the prey that isotopically contributes the most to the diet (70 - 79.3%). When performing the analysis for the trophic amplitude through stomach contents, we obtained a value of  $\text{Bi} = 0.631$ , whilst, by means of the isotopic ratios, a variability of  $\delta^{13}\text{C} \pm 0.212\text{DE}$  y  $\delta^{15}\text{N} \pm 0.197\text{DE}$  was observed. Using the analysis for similarity of diet, we observed a high similarity, both between the sexes ( $R_{\text{global}} = -0.001$  con un  $p = 44.7\%$ ;  $\delta^{13}\text{C}$ :  $U_{(27,38)} = 510$ ,  $p = 0.968$ ;  $\delta^{15}\text{N}$ :  $U_{(27, 38)} = 479$ ,  $p = 0.651$ ) and the stages of maturity ( $R_{\text{global}} = 0.064$ ,  $p = 2.5\%$ ;  $\delta^{13}\text{C}$ :  $U_{(24, 23)} = 270$ ,  $p = 0.898$ ;  $\delta^{15}\text{N}$ :  $U_{(24, 23)} = 243$ ,  $p = 0.482$ ). In relation to trophic position, we observed a higher trophic level through the diet (PT =  $4.67 \pm 0.519\text{DE}$ ), than by using  $\delta^{15}\text{N}$  (PT =  $3.33 \pm 0.100\text{DE}$ ). We conclude that *Raja velezi*, is a species with a trophic plasticity, which feeds of prey whit different trophic positions, that can adopt trophic positions of secondary and tertiary.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los elasmobranquios son uno de los recursos pesqueros de mayor preocupación en la actualidad, ya que a nivel mundial, se ha reportado una sobrepesca de varias especies (Ramírez-Amaro *et al.*, 2013). En México, la mayor captura de elasmobranquios se concentra en las costas del Pacífico mexicano, representando el 78.35% del total de las capturas durante el periodo 2000 – 2009 (CONAPESCA, 2010), dichas capturas están conformada por tiburones y rayas. En el caso de las rayas, las familias Myliobatididae, Rhinobatidae, Dasyatidae y Rajidae son las consideradas como las más representativas en la producción regional (CONAPESCA-IPN, 2004; Ramírez-Amaro *et al.*, 2013)

Dentro de la familia Rajidae se encuentra *Raja velezi*, la cual forma parte de las capturas de la pesquería artesanal de la costa occidental de Baja California Sur en los últimos años. Sin embargo, son pocos los estudios que se han realizado en esta especie, (McEachran y Di-Sciara., 1995; Navia *et al.*, 2007). Por consiguiente, esta especie ha sido catalogada en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) como “deficiente de información”. Por lo que, dado que es un recurso considerado como parte de las capturas de elasmobranquios, pero que se desconoce su importancia a nivel ecológico, es importante ampliar la información de los aspectos de la biología básica de esta especie de raya para poder coadyuvar para que se elimine lo de “deficiente de información”.

Los aspectos a estudiar son los enfocados en conocer la ecología trófica de un depredador, donde su importancia no solo radica en el conocimiento de la composición específica del espectro trófico de un organismo; sino que además, aporta aspectos como la posición trófica, la amplitud de dieta, traslapo trófico y el comportamiento trófico, detallando las relaciones intraespecíficas, asociados al alimento consumido (Hernández-Aguilar, 2008), permitiendo conocer cómo se conduce la energía a través de los diferentes niveles tróficos en una comunidad.

A través de los años este tipo de estudios se han basado en utilizar análisis de contenidos estomacales, los cuales proporcionan información directa del espectro trófico al describir el periodo de ingesta y digestión, además de aportar información a nivel taxonómico de las presas ingeridas en un periodo corto de tiempo (uno o dos días) permitiendo conocer la resolución taxonómica de la dieta en el momento y el lugar que ocupa el depredador y sus presas en la red alimenticia, lo que ayuda a entender como un depredador podría influenciar la población de las presas y viceversa en una escala de tiempo corta (Hernández-Aguilar, 2008; Valenzuela-Quíñonez, 2009).

Por otra parte, muchas interacciones tróficas no pueden ser detectadas con los métodos tradicionales (análisis de contenido estomacal), siendo necesario complementar con otro método (Roman-Reyes, 2003). En años recientes se han utilizado los análisis de las razones de isótopos estables de carbono ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  - $\delta^{13}\text{C}$ -) y nitrógeno ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  - $\delta^{15}\text{N}$ -) en tejidos de los organismos para el estudio de la estructura y dinámica ecológica de las comunidades (Post, 2002). Este análisis se basa en la evaluación de los cambios en las razones de los isótopos pesados de carbono ( $^{13}\text{C}$ ) y nitrógeno ( $^{15}\text{N}$ ) vs los ligeros ( $^{12}\text{C}$  y  $^{14}\text{N}$ ); ya que aportan información sobre el origen de las fuentes nutricionales y permiten conocer el alimento asimilado al presentar un enriquecimiento constante del isótopo pesado entre niveles tróficos, debido a su acumulación en los tejidos (Post, 2002; Bearhop *et al.*, 2004); por lo cual, aportan información sobre la alimentación, patrones y comportamiento alimentario en distintas escalas temporales (de meses o de 1 a 2 años previos a su muerte), dependiendo de la tasa metabólica del tejido utilizado (hígado, sangre, músculo, vertebras) (Kim y Koch, 2012; Polo-Silva, 2013); siendo considerada como una técnica que permite evaluar relaciones tróficas en una amplia variedad de ecosistemas (Román-Reyes, 2003).

En el caso de  $\delta^{13}\text{C}$ , mide variaciones relacionadas a distintos ambientes o fuentes de energía de los consumidores (marino/dulceacuícola, costero/oceánico, pelágico/bentónico) (Hobson *et al.*, 1997; Post, 2002); mientras que  $\delta^{15}\text{N}$ , aumenta

progresivamente sus valores a lo largo de los niveles tróficos y puede ser utilizado para determinar la posición y amplitud trófica de los consumidores (Post, 2002; Bearhop *et al.*, 2004).

En este contexto, el uso de los análisis de contenido estomacal e isótopos estables de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , de manera complementaria en los estudios de ecologías tróficas permite detallar en diferentes escalas de tiempo, las relaciones intraespecíficas e interespecíficas (Valenzuela-Quiñonez, 2009). Por lo que, se estudió la ecología trófica de *Raja velezi* y sus posibles variaciones entre sexo, estadio de madurez, meses y años, con el fin de aporta información sobre el papel trófico que desempeña en la costa occidental de Baja California Sur.

## 2. ANTECEDENTES

Son pocos los estudios realizados sobre *Raja velezi*, la cual, es una especie de batoideo que se encuentra distribuida en el Océano Pacífico; desde el Golfo de California, México, hasta Ecuador, incluyendo las Islas Galápagos y Perú, se encuentra sobre la plataforma continental, a profundidades entre 35 y 140 m (Fisher *et al.*, 1995).

Recientemente, Ruiz-Campos *et al.*, (2010), amplió su rango de distribución al hacer un nuevo registro de esta especie en la costa occidental de la península de Baja California, México; estos autores analizaron seis especímenes de *R. velezi* encontrados a una profundidad de 75 a 110 m entre las coordenadas 23°32.960' y 25°31.795' N. Por su parte, Puentes *et al.* (2007), la reportan como parte de la composición de la captura del camarón en aguas profundas del océano Pacífico Colombiano; mientras que, Bizzarro *et al.* (2007) lo hace en el Golfo de California.

A nivel morfológico, *R. velezi* presenta los márgenes anteriores del disco convexos; los ápices de las aletas pectorales agudos, con aguijones en la línea media del cuerpo y un ocelo central bien demarcado en cada aleta pectoral; la coloración dorsal es café-pardo, mientras que la ventral es blanquecina (McEachran y Di-Sciara, 1995; Santana *et al.*, 2004). Presenta una talla máxima de 75.6 cm de longitud total, siendo común hasta los 60 cm (Fig. 1). Asimismo, Soto-López (en prep.) menciona que la talla de madurez para las hembras es de 68.77 cm de ancho de disco, mientras que, para machos es de 65.16 cm.



**Figura 1.-** Vista dorsal de *Raja velezi*.

En cuanto a estudios realizados en otras zonas sobre los hábitos alimentarios de *R. velezi* a partir del análisis de contenido estomacal; Navia *et al.* (2007) realizaron un estudio sobre la ecología alimentaria de elasmobranquios en la costa de Colombia donde analizaron el contenido estomacal de *R. velezi* encontrando solo dos categorías de especies presas, peces (familia Batrachoididae) y decápodos, siendo los peces la presa principal, al obtener mayor frecuencia (53.8 %) y mayor abundancia (53.9 %), con un peso de 50.8 %, obteniendo el 70.4 % de %IIR.

Por otra parte, Espinoza *et al.*, (2012) mencionan que el espectro trófico de *R. velezi* capturada en Costa Rica, está compuesto por decápodos, isópodos, estomatópodos, teleósteos, cefalópodos, bivalvos y poliquetos; siendo los decápodos (%IIR = 57.5) y peces (%IIR = 41) las presas de mayor importancia en su alimentación. Además, observaron que la dieta de los organismos inmaduros está

compuesta principalmente por camarones (%IIR = 97.6), mientras que los organismos maduros se alimentan principalmente de peces (%IIR = 63.9); por lo que concluyen, que *R. velezi* es un depredador epibentónico especializado en camarones a tempranas edades y en peces en organismos maduros.

En México son inexistentes los estudios de hábitos alimentarios de *R. velezi*; sin embargo, existen algunos estudios tróficos realizados en especies de batoideos, principalmente en el Océano Pacífico oriental. Valadez-González (2007), realizó un estudio sobre la distribución, abundancia y alimentación de las rayas bentónicas de la costa de Jalisco y Colima; para lo cual, analizó el contenido estomacal de 1600 ejemplares correspondientes a 11 especies de rayas, obteniendo una dieta conformada principalmente por crustáceos (anfípodos, decápodos, estomatópodos, anomuros y braquiuros), poliquetos, moluscos y peces pequeños.

Flores-Ortega *et al.* (2011), realizaron el análisis del contenido estomacal y de las interacciones tróficas de *Urotrygon halleri*, *U. munda* y *U. rogersi*; las cuales fueron capturadas en la plataforma continental del Pacífico central mexicano. En este estudio, observaron que las dietas de estas rayas estuvieron compuestas principalmente de camarones carideos y en menor proporción de peces, poliquetos y moluscos; presentando una estrategia generalista. Concluyeron que las ligeras diferencias observadas en las dietas, son debidas a los cambios estacionales en las asociaciones de macroinvertebrados de fondos blandos de la zona somera, y que la competencia y depredación no son los factores más determinantes en la dinámica de las tres especies de rayas analizadas.

Por su parte, Navarro-González *et al.* (2012) realizó un estudio sobre seis especies de batoideos en la plataforma de Sinaloa-Nayarit; en el cual, incluye a *Rhinobatos glaucostigma*, *Rhinoptera steindachneri*, *Urotrygon aspidura*, *U. nana*, *U. rogersi* y *Dasyatis brevis*. Menciona que, estas especies se alimentan principalmente de crustáceo (65 %) siendo los decápodos los de mayor aporte, mientras que los teleósteos y equinodermos fueron de menor frecuencia, aunque con una importancia

elevada en la dieta de algunas especies. Asimismo, sugiere que, debido a los valores de amplitud (entre  $B_i = 0.012$  y  $0.425$ ), no es adecuado señalar a una especie como depredador especialista o generalista; señalando que la diferencia en la amplitud de la dieta entre las diferentes especies de batoideos, probablemente sean el reflejo de adaptaciones morfológicas y conductuales.

Con respecto a estudios de hábitos alimentarios mediante el uso de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , existen algunos realizados sobre diferentes especies de elasmobranquios, en donde ha quedado de manifiesto la gran utilidad de estos análisis. Valenzuela-Quiñonez (2009), analizó los hábitos alimentarios de *Rhinobatus productus* en el Alto Golfo de California mediante análisis de contenido estomacal e isótopos estables; donde observó que la dieta de esta especie está dominada por camarones (Penaeoidea y Caridea; 51.71 %), peces (9.94 %) y cangrejos (7.2 %); y que los valores obtenidos con  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-15.13 \pm 0.4$  ‰) y  $\delta^{15}\text{N}$  ( $19.74 \pm 0.50$  ‰), muestran que son organismos que se alimentan en hábitats costeros bentónicos; concluyendo que es un organismo especialista observando un incremento en la diversidad de la dieta de adultos con respecto a los juveniles, evidenciando un alto traslapo en la dieta entre sexos y una disminución del traslapo de la dieta de juveniles con respecto a los adultos; mientras que los valores de la posición trófica lo ubican como un depredador carnívoro secundario.

Escobar-Sánchez *et al.* (2011), realizaron un estudio sobre la posición trófica y composición isotópica de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de *Squatina californica* en el sureste del Golfo de California, donde lo catalogaron como una especie que se alimenta de presas bentónicas al obtener un valor promedio de  $\delta^{13}\text{C} = -15.94\text{‰} \pm 0.34$ ; asimismo, obtuvo un valor promedio de  $\delta^{15}\text{N} = 18.9\text{‰} \pm 0.27$ , considerándolo un consumidor terciario (NT = 4.5).

Blanco-Parra *et al.* (2012), analizó la ecología alimentaria y posición trófica de *Zapteryx exasperata*, en donde observó que este batoideo juega un rol de depredador bentopelágico en la costa del Golfo de California, siendo el pez

*Porichthys margaritatus* (%IIR = 91.76) la presa dominante de la dieta. Por otra parte, observó que se trata de un depredador de niveles tróficos bajos; el cual, presenta un alto traslapo entre sexos y, juveniles y adultos; concluyendo que conforme aumenta la longitud total, es más bajo el traslapo.

### 3. JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial, México es uno de los países con mayor captura de elasmobranquios (tiburones y rayas); siendo la costa del Pacífico mexicano, la que más contribuye en la captura total nacional.

Por su parte, *Raja velezi* es una de las rayas perteneciente a la captura de batoideos de la costa occidental de Baja California Sur. Se cree que esta especie, al igual que la mayoría de los elasmobranquios, presenta un crecimiento lento, madurez sexual tardía y ciclos reproductivos largos con una fecundidad baja; por lo que se podría ocasionar una disminución en los niveles de su población debido a su demanda pesquera, pudiendo tener un efecto considerable, principalmente sobre los niveles tróficos de la cadena alimenticia o la red trófica de un ecosistema.

A pesar de la importancia ecológica y pesquera de *R. velezi*, se tiene poca información de su biología; por lo que es necesario ampliar el conocimiento sobre su ecología trófica, así como conocer la posición trófica que presenta dicho batoideo dentro del ecosistema en la costa occidental de Baja California Sur.

Desde este punto de vista, aunque existen trabajos sobre la ecología trófica de *R. velezi* en el Pacífico, este es el primer estudio de su ecología trófica a nivel nacional. Además, el primero en realizar un análisis de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en el músculo de la raya, como complemento del análisis de contenido estomacal; por lo cual, aparte de aportar información de su dieta ingerida en las últimas horas, aporta información de la dieta asimilada, proporcionando la alimentación a escalas mayores (de meses). Aunado que, mediante los modelos de mezcla, se sabrá cuáles especies presas aporta más a la señal isotópica, y por ende, que presa es una de las más importantes en la dieta.

#### 4. HIPÓTESIS

Al igual que otras especies de rayas, *Raja velezi* es considerada como un depredador epibentónico, donde su espectro trófico está conformado principalmente de peces y decápodos. No obstante, el comportamiento trófico de un depredador puede variar dependiendo del área de estudio, sexo, estadio de madurez, etc.; y por ende, el papel trófico que desempeñe será diferente entre dichas categorías. Por lo que se espera, que en la costa occidental de Baja California Sur, *R. velezi* presente un espectro trófico diferente al reportado en otras áreas del Pacífico, así como entre categorías.

#### 5. OBJETIVO:

Determinar la ecología trófica de *Raja velezi* en la costa occidental de Baja California Sur, utilizando análisis de contenido estomacal y de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ .

##### 5.1 Objetivos particulares:

- Identificar la composición específica del espectro trófico de *Raja velezi*, así como sus posibles variaciones entre sexos y estadios de madurez.
- Determinar los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  y la relación C:N en el músculo de *Raja velezi*, entre sexos y estadios de madurez.
- Determinar las presas principales de la dieta, a partir de modelos de mezcla, usando señales isotópicas.
- Determinar la amplitud; traslapeo trófico entre sexos, estadios de madurez, meses y años; y la posición trófica con base en la dieta y el  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ .

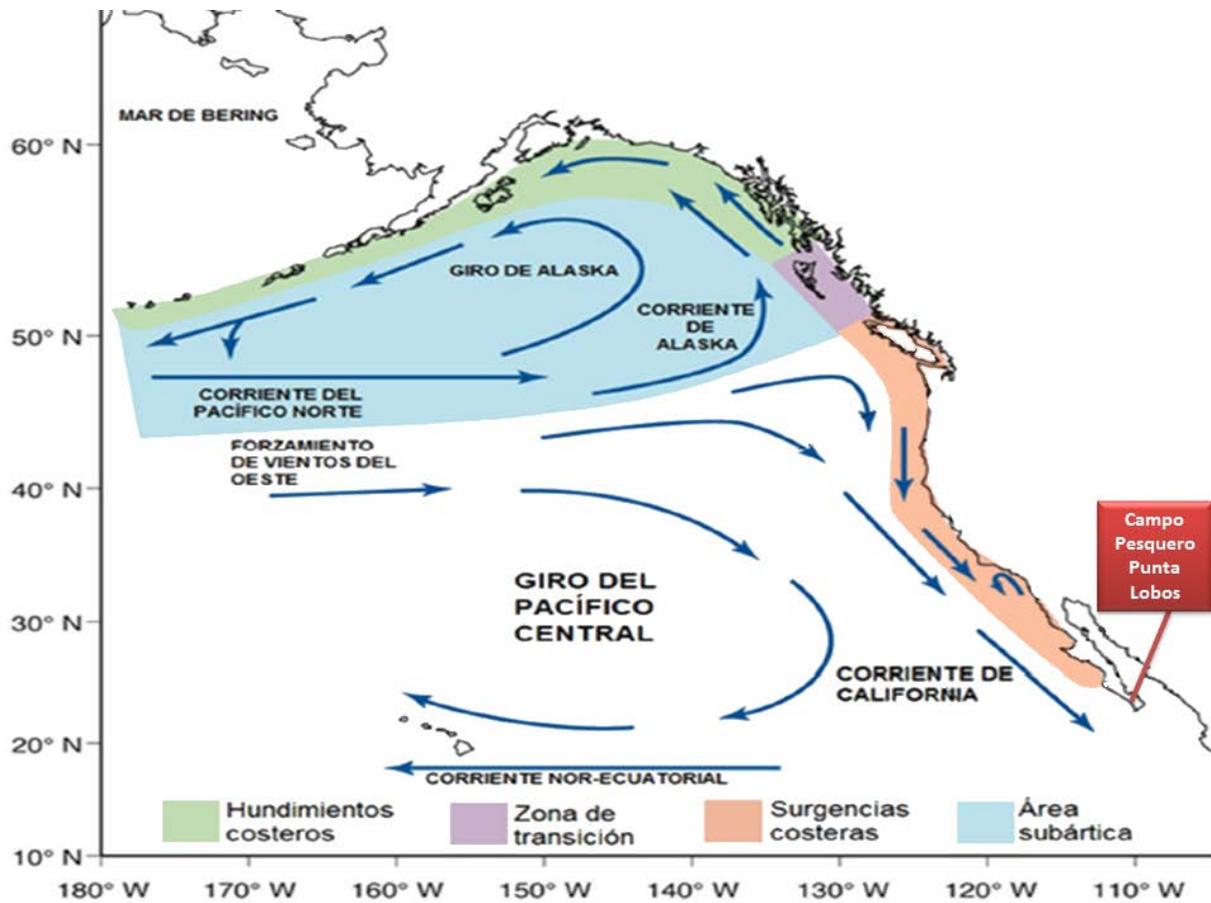
## 6. ÁREA DE ESTUDIO

Los muestreos se realizaron en el campo pesquero Punta Lobos, ubicado en el extremo sur de la costa occidental de Baja California Sur, entre los paralelos 23°25' de latitud norte y 110° 14' de longitud oeste (Fig. 2). Esta zona posee características oceanográficas particulares, debido a que presenta una estrecha plataforma continental de menos de 37 km (Ramírez-Amaro *et al.*, 2013), y puede encontrarse profundidades de 800 m cerca de la costa (Álvarez-Borrego, 1983).

La costa occidental de la península de California está incluida en el extremo sur del Sistema de la Corriente de California (SCC). EL SCC se encuentra limitado al norte por la corriente Subártica y al sur por la corriente Noroecuatorial;

ELSCC está conformado por tres corrientes: la corriente de California (CC), la Contracorriente Costera (CCC) y la Contracorriente Superficial de California (CSC) (Hemingway, 1979).

La CC sigue una dirección paralela a la costa hasta llegar casi al extremo de la península; se caracteriza, por tener salinidad y temperaturas bajas, altos valores de oxígeno disuelto y un continuo aporte de nutrientes (Álvarez-Sánchez, 1977; Hemingway, 1979). Sin embargo, estas características se alteran en respuesta a los eventos de surgencias y contraflujos. Durante los meses de marzo a julio, los vientos del noroeste se intensifican creando condiciones favorables para la generación de surgencias costeras (Hickey, 1979; Gómez y Vélez, 1982). En este periodo, la CC se intensifica acercándose a la costa de norte-sur, y al mismo tiempo, retorna hacia el norte para originar la CSC (García, 2010), la cual fluye cerca de la costa, llevando aguas cálidas; mientras que, en los meses de septiembre a febrero los vientos predominan del sureste y las surgencias cesan (Hickey, 1979).



**Figura 2.-** Ubicación del campo pesquero Punta Lobos, Baja California Sur, México y diagrama general de circulación en el Pacífico Norte (reimpreso de F.B. Schwing, NOAA Fisheries Service).

## 7. MATERIAL Y MÉTODOS

### 7. 1 Datos generales y tamaño de muestra

Se realizaron muestreos quincenales en el campo pesquero Punta Lobos, de marzo a julio del 2011 y 2012, con el fin de recolectar muestras biológicas (estómagos y músculos) provenientes de la pesquería comercial (artesanal).

Se identificaron los organismos usando las claves de Fisher *et al.*, (1995), se registró la localidad, longitud total (LT), ancho de disco (AD) y sexo. Posteriormente se extrajo el estómago y se recolectó una biopsia de músculo de la parte dorsal-anterior de los organismos, se depositó cada muestra en una bolsa de plástico, se etiquetaron y congelaron para su posterior análisis en el Laboratorio de Ecología de Peces, del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN), en la ciudad de La Paz, Baja California Sur.

Para realizar el análisis de contenido estomacal se determinó el porcentaje de llenado de los estómagos, donde se asignaron cinco categorías, partiendo de 0 a 4, donde 0 es vacío y 4 es de 76 % a 100% de llenado (Stillwell y Kohler, 1982). Se separaron las presas del contenido estomacal; se determinó el estado de digestión de cada una, acorde con Galván-Magaña (1999); y se identificó al menor taxón posible utilizando diferentes claves de identificación.

Para presas en estado 1 (caracterizadas por presentar un escaso o nulo estado de digestión), en estado 2 (ausencia de piel, pérdida de alguna extremidad) y en estado 3, (estructuras aisladas del organismo como esqueletos, partes de exoesqueletos de crustáceos), se utilizaron las claves de Fisher *et al.* (1995), Robertson y Allen (2002), y Sánchez-Cota (2013). Para presas en estado 4, que son estructuras rígidas difícilmente digeribles como otolitos y picos de cefalópodos, se utilizó la colección de mandíbulas superiores e inferiores de cefalópodos y la colección de otolitos del laboratorio de Ecología de Peces del CICIMAR-IPN.

Para el análisis de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , se extrajo la humedad de las muestras del músculo y de las presas obtenidas en el contenido estomacal, secándolas en un horno a 60 °C durante 36 horas. Una vez libres de humedad fueron molidas para su homogenización en un mortero de ágata, el cual fue sucesivamente lavado con agua destilada y solución cloroformo-metanol 1:1 para evitar la contaminación entre muestras.

Ya homogeneizadas todas las muestras de músculos, se pesó  $\pm 0.001$  gr de cada muestra en una balanza analítica marca AHOUS con precisión de  $\pm 0.0001$  y se colocaron en capsulas de estaño de 8 por 5 mm de tamaño, en el Laboratorio de Química Orgánica del CICIMAR-IPN.

Posteriormente se envió las muestras al Laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad de California en Santa Cruz, Estados Unidos de Norteamérica, para su análisis en el espectrómetro de masas de razones isotópicas (EMRI) (20 - 20, PDZEuropa, Scientific Sandbach, United Kingdom, UK), el cual tiene una precisión de corrida de 1.0 ppm, con el fin de cuantificar los isótopos estables de Carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) y de 2.00 ppm, para cuantificar los isótopos estables de Nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ), (Torres-Rojas *et al.*, 2009; Valenzuela-Quiñonez, 2009).

Los valores de isótopos estables ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ) se calcularon mediante la fórmula de Park y Epstein (1961).

$$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = \left[ \left( \frac{R_{\text{muestra}}}{R_{\text{estándar}}} \right) - 1 \right] * 1000$$

Donde:

$R_{\text{muestra}}$  = proporción entre los isótopos  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$

$R_{\text{estándar}}$  = Pee Dee Belemnite (PDB)

$$\delta^{15}N(\text{‰}) = \left[ \left( \frac{R_{muestra}}{R_{estandar}} \right) - 1 \right] * 1000$$

Donde:

$R_{muestra}$  = proporción entre los isótopos  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$

$R_{estandar}$  = nitrógeno atmosférico

## 7.2.- Representatividad y homogeneidad bioquímica

Para establecer si el número de estómagos analizados era representativo para caracterizar el espectro trófico de *R. velezi*, mediante contenido estomacal, se obtuvo la curva acumulada de las especies presas de la raya, graficando el número de estómagos con alimento contra la diversidad de especies presas, basándose en valores de diversidad de Shannon obtenidos con el programa de EstimateS 8.0 (Colwell, 2006).

Asimismo, se calculó el coeficiente de variación (C.V.), considerando el valor menor a 0.05 como indicador de una homogeneidad considerable en los valores de diversidad y por ende, una representación adecuada del espectro trófico.

Por otra parte, para saber si se tenía una homogeneidad bioquímica adecuada de las muestras de músculo, se graficó el  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  contra la relación carbono-nitrógeno (C:N), respectivamente; al obtener valores por debajo de 3.5, indicaba que los músculos se encontraban libres de lípidos (Post *et al.*, 2007); además, si se encontraban por encima de 2.5, significaba que los músculos se encontraban libres de urea (Kim y Koch, 2011); lo que significaba, que se contaba con proteínas puras, y por ende, que la variación del valor isotópico era un indicador de la actividad del depredador (Torres-Rojas *et al.*, 2013).

### 7.3. Espectro trófico

Ya identificados taxonómicamente la totalidad de las presas, se aplicaron los métodos propuestos por Hyslop (1980), a partir de la información del número (%N), biomasa (%G) y frecuencia de aparición (%FA) de la presas en los estómagos:

- Método numérico (%N):

$$\%N = \frac{n}{NT} * 100$$

Donde:

$\%N$ = Método numérico

$n$ = Número total de un grupo presa

$NT$ = Número total de presas encontradas en los estómagos

- Método gravimétrico (%G):

$$\%G = \frac{g}{GT} 100$$

Donde:

$\%G$ = Método gravimétrico

$g$ = Peso total de un grupo presa

$GT$ = Peso total de todas las presas encontradas en los estómagos

- Método de frecuencia de aparición (%FA):

$$\%FA = \frac{n}{TE} * 100$$

Donde:

$\%FA$ = Método de frecuencia de aparición

$n$ = Número de estómagos en los que se presenta determinado grupo presa

$TE$ = Total de estómagos analizados con alimento

Posteriormente, se combinaron los tres métodos anteriores, utilizando el índice de importancia relativa (IIR) propuesto por Pinkas *et al.*, (1971), con la finalidad de conocer cuáles eran las especies de mayor importancia dentro del espectro trófico de la raya:

$$IIR = (\%G + \%N) * \%FA$$

Donde:

IIR= Índice de importancia relativa

%G= Método gravimétrico

%N= Método numérico

%FA= Método de frecuencia de aparición

Y se transformó el IIR, siguiendo a Córtes (1997), para obtener valores en porcentajes:

$$\%IIR = 100IIRi / \sum_{i=1}^n IIRi$$

Para realizar los análisis por estadios de madurez (juvenil, adulto e indeterminado), se basó en un estudio de reproducción de *R. velezi*, efectuado por Soto-López (tesis en desarrollo); donde se mencionan que, las hembras maduras presentan tallas mayores a 68.77 cm, y los machos maduros presentan tallas mayores a 65.16 cm de longitud de disco.

Con la finalidad de determinar cuáles eran las presas más asimiladas por *Raja velezi*, se compararon los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  entre las muestras de *Raja velezi* y las presas de su dieta. Para lo que se utilizó el modelo de mezcla Bayesiana (MixSir v. 1.0.4; Moore and Semmens (2008); el cual considera el error isotópico, empleando los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  del depredador y los valores de la media ( $\pm$  desviación estándar DE) de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de sus presas, dando como resultado, una distribución de porcentajes que van desde 0 a 99 %, donde los porcentajes mínimos los

presentan las presas de menor aportación (menor asimilación) y los de mayor porcentaje, las presas que más aportan a la dieta (mayor asimilación por el depredador) (Torres Rojas *et al.*, 2013).

#### 7.4. Amplitud y traslapo trófico

Para determinar la amplitud del espectro trófico mediante el análisis de contenido estomacal, se calculó el índice estandarizado de Levin (1968) ( $B_i$ ), donde los valores varían de 0 a 1, indicando los valores menores a 0.6, que se trata de un depredador que tiende a ser especialista y los valores mayores a 0.6 un depredador que tiende a ser generalista:

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

Donde:

$B_i$ = Índice de Levin para el depredador  $i$ .

$P_{ij}$ = Proporción de la dieta del depredador  $i$  que utiliza la presa  $j$ .

$n$ = Número de categorías de las presas.

Para conocer la diversidad de presas de forma intraespecífica, se utilizó el índice de Shannon-Wiener (Shannon y Weaver, 1949) ( $H'$ ), utilizando el programa de PRIMER 6; donde un bajo valor del índice indica pocas especies presas, es decir, una especialización, y viceversa (Torres-Rojas *et al.*, 2013).

$$H' = - \sum_{i=1}^n P_i * \log_2(P_i)$$

Donde:

$H'$ = Índice de Shannon;

$P_i$ = Proporción de individuos hallados en la especie  $i$ -ésima

Por otra parte, para determinar la amplitud trófica mediante el análisis de isótopos estables, se basó en los criterios propuestos por Bearhop *et al.*, (2004), quienes mencionan que, las proteínas de los consumidores, reflejadas en la razón isotópica, expresan las proteínas de su dieta con un enriquecimiento, en cada nivel trófico, de entre 2.5% y 5% en  $\delta^{15}\text{N}$ , y un enriquecimiento de 1% en  $\delta^{13}\text{C}$  mayor al de su dieta; es decir, al haber un mayor cambio en la razón isotópica de los consumidores, se refleja una dieta generalista, mientras que con una variabilidad pequeña se refleja una dieta especializada. Por lo que se graficó la media de las razones isotópicas de  $\delta^{15}\text{N}$  con sus desviaciones estándar (Torres-Rojas *et al.*, 2013), considerando que valores por debajo de 1 son propios de poblaciones especialistas (Jaeger *et al.*, 2009).

Para determinar el traslape trófico intraespecífico mediante contenido estomacal, se utilizó el índice de similitud (ANOSIM, R) de Clarke y Warwick (2001), presente en el programa PRIMER 6. Este índice indica el grado de separación entre los grupos mediante valores que van de 0 a 1, indicando los valores cercanos a 0 que existe una amplia similitud en la composición de la dieta de los grupos comparados. Su fórmula es:

$$R = \frac{r_B - r_w}{\frac{1}{2} M}$$

Donde:

$R$ = La similitud

$r_B$ = Promedio de los intervalos de similitud de todos los pares de réplicas entre los diferentes sectores

$r_w$ = Promedio de todos los intervalos de similitud dentro de los sectores;

$M = \frac{n(n-1)}{2}$ , donde n es el número total de muestras en consideración.

Por otra parte, las diferencias significativas en los isótopos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , indican que los depredadores están haciendo uso de áreas y presas diferentes para alimentarse, sugiriendo un traslapeo trófico bajo y viceversa (Newsome *et al.*, 2006). Por lo que para obtener el traslapeo trófico intraespecífico se elaboró un histograma de frecuencias de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  y se les aplicó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas.

### 7.5. Posición trófica

La posición trófica (PT) usando la información obtenida del contenido estomacal, se estimó mediante la ecuación establecida por Christensen y Pauly (1992), utilizando la posición trófica de las especies presas. En el caso de los moluscos, la posición trófica se obtuvo con la aplicación TropLab (Pauly *et al.*, 2000); mientras que, para los peces se obtuvieron a partir de la base de datos de internet “fishbase” (sitio <http://www.fishbase.org>). Para el caso de las presas no identificadas hasta especie, se le asignó el valor obtenido del promedio de las posiciones tróficas del género, o en su defecto familia, al que pertenece.

$$PT = 1 + \left( \sum_{j=1}^n CD_{ij} \right) (PT_j)$$

Donde:

$PT$ = Posición trófica

$CD_{ij}$ = Composición de la dieta, siendo la proporción de la presa (j) en la dieta del depredador (i)

$n$ = Número de grupos en el sistema

$PT_j$ = posición trófica asignada a cada presa

Mientras que, mediante isótopos estables se estimó usando la ecuación propuesta por Post (2002).

$$PT = \lambda + \frac{(\delta^{15}N_{Depredador} - \delta^{15}N_{Base})}{\Delta_n}$$

Donde:

$\lambda$  = Posición trófica de MOP

$\Delta_n$  = Valor teórico de enriquecimiento en  $^{15}\text{N}$  por posición trófica (3.7‰, Kim *et al.*, 2012).

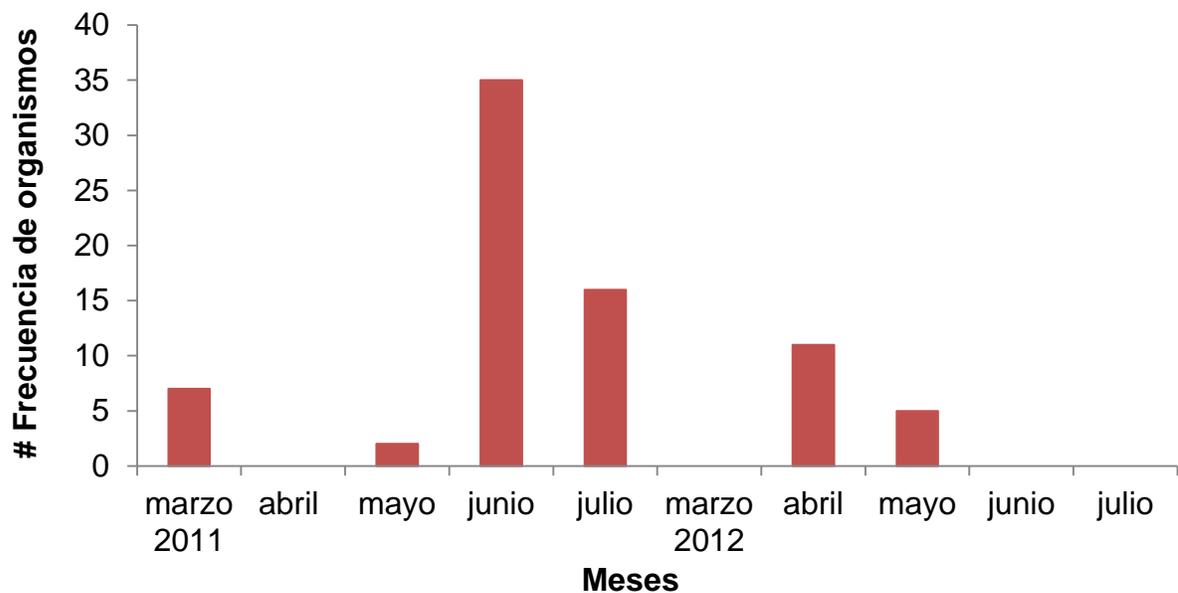
$\delta^{15}N_{Depredador}$  = Valor de  $\delta^{15}\text{N}$  de *Raja velezi*

$\delta^{15}N_{Base}$  = Valor de  $\delta^{15}\text{N}$  de MOP (9.3‰, Altabet *et al.*, 1999).

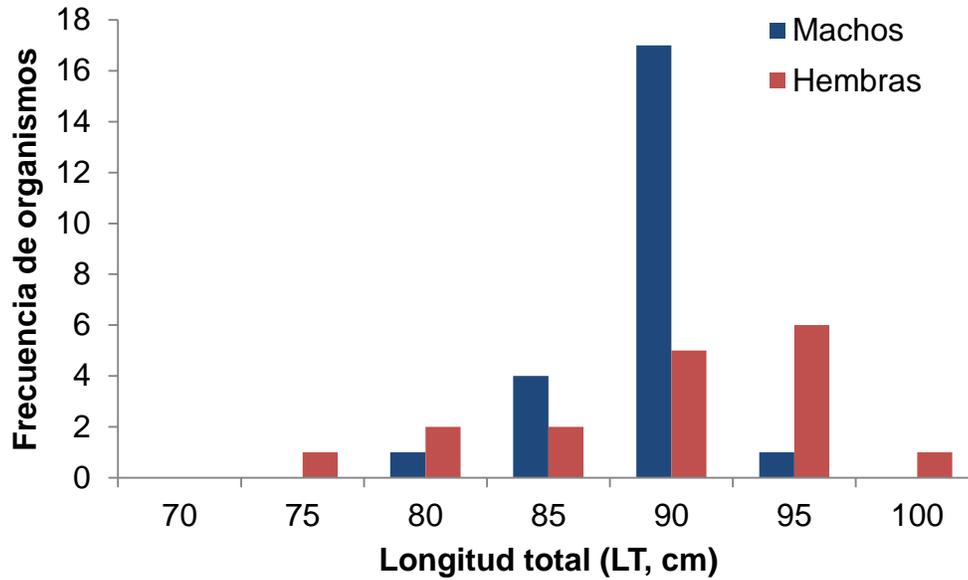
## 8. RESULTADOS

### 8.1 Datos generales y tamaño de muestra.

Se analizaron un total de 76 organismos de *R. velezi*, donde el mes de junio del 2011 fue el mejor representado (Fig. 3). Del total de organismos analizados, 32 eran hembras (42.11 %), 43 machos (56.58 %) y un indefinido (1.32 %) (Fig. 3). Asimismo, 27 eran juveniles (35.53 %), 27 eran adultos (35.53 %) y 22 eran organismos indeterminados (28.95 %). El intervalo de talla de *R. velezi*, fue de 75 a 97 cm de longitud total (LT), con un promedio de 87.3 ( $\pm 4.719$  de desviación estándar (DE)) (Fig. 4).



**Figura 3.-** Histograma de frecuencia de organismos de *Raja velezi* muestreados en cada mes de muestreo en el campo pesquero Punta Lobos, B.C.S.



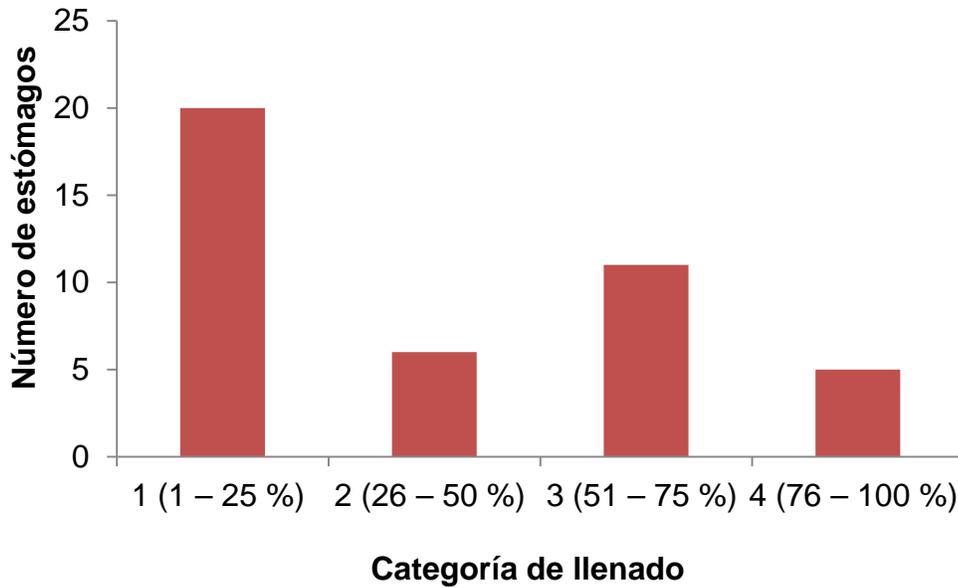
**Figura 4.-** Histograma de frecuencia de longitud total (cm), para machos y hembras de *Raja velezi* muestreados en el campo pesquero Punta Lobos, B.C.S.

Para el análisis de contenido estomacal, se analizaron 59 estómagos, de los cuales 30 pertenecían a hembras (50.85 %) y 29 pertenecían a machos (49.15 %) (Tabla I). A su vez, 21 organismos eran juveniles (35.59 %), 23 eran adultos (38.98 %) y 15 eran organismos indeterminados (25.42 %) (Tabla I)

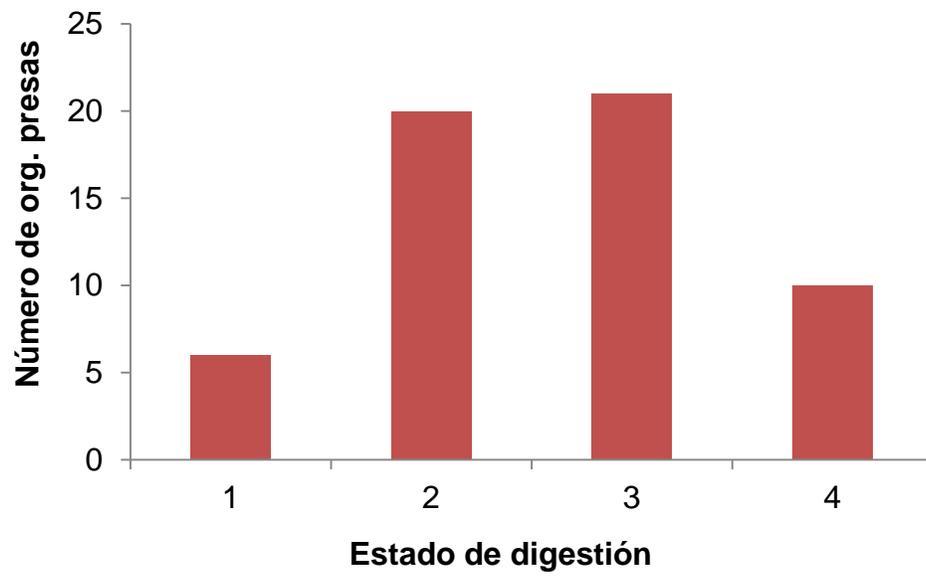
**Tabla I.** Número de estómagos de *Raja velezi*, analizados en cada mes de muestreo.

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Hembras</b>	<b>Machos</b>	<b>Juveniles</b>	<b>Adultos</b>	<b>Indeterminados</b>
2011	marzo	1	2	1	1	1
	abril	0	0	0	0	0
	mayo	2	0	0	2	0
	junio	14	14	11	6	11
	julio	7	8	1	11	3
2012	marzo	0	0	0	0	0
	abril	6	5	8	3	0
	mayo	0	0	0	0	0
	junio	0	0	0	0	0
	julio	0	0	0	0	0
<b>Total</b>		<b>30</b>	<b>29</b>	<b>21</b>	<b>23</b>	<b>15</b>

De los 59 estómagos de *R. velezi* analizados, 17 se encontraron vacíos (28.81 %) y 42 presentaron alimento con diferentes niveles de llenado (71.19 %). Las categorías uno y tres fueron las más representativas de las categorías con alimento, al presentar el 47.62 % y el 26.19 % de los estómagos respectivamente; mientras que las categorías dos y cuatro presentaron 14.29 % y 11.90 %, respectivamente (Fig. 5); Las presas de *R. velezi* se encontraron principalmente con un estado de digestión dos (35.09 %) y tres (36.84 %) (Fig. 6).



**Figura 5.-** Clasificación de los estómagos de *Raja velezi* de acuerdo al porcentaje de llenado



**Figura 6.-** Número de especies presas de *Raja velezi*, en cada una de las categorías de estados de digestión.

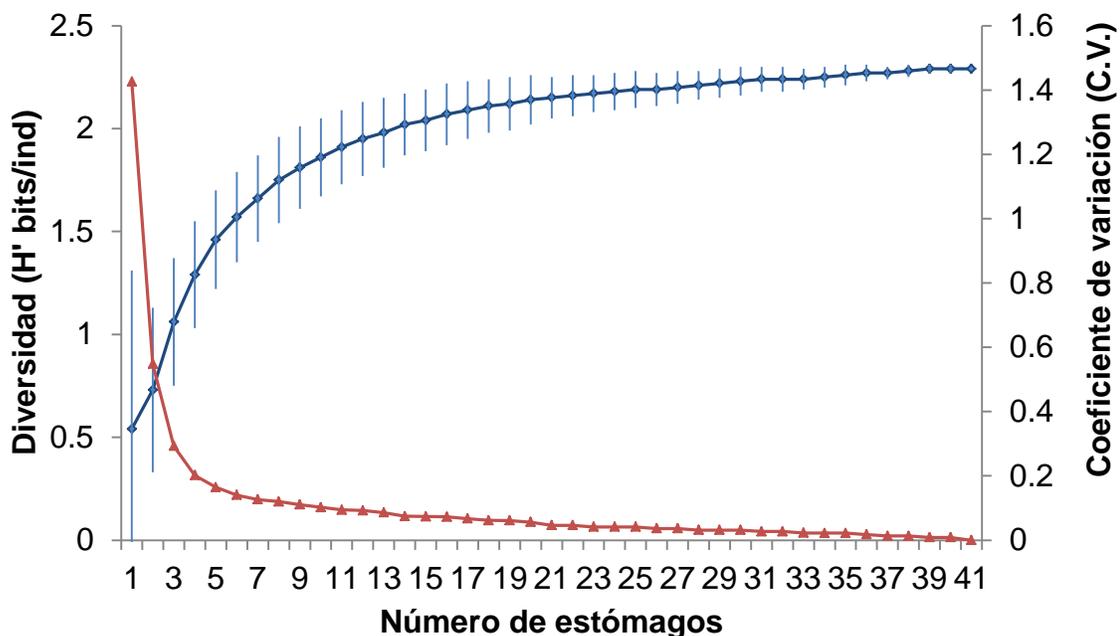
Por otra parte, para el análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno, se analizaron 67 biopsias de músculos, de los cuales 27 pertenecían a hembras (40.30 %), 39 a machos (58.21 %) y uno indefinido (1.49 %) (Tabla II). Dentro de las 67 biopsias, se analizaron 24 juveniles (35.82 %), 24 adultos (35.82 %) y 19 indeterminados (28.36 %) (Tabla II).

**Tabla II.-** Número de músculos de *Raja velezi*, analizados en cada mes de muestreo.

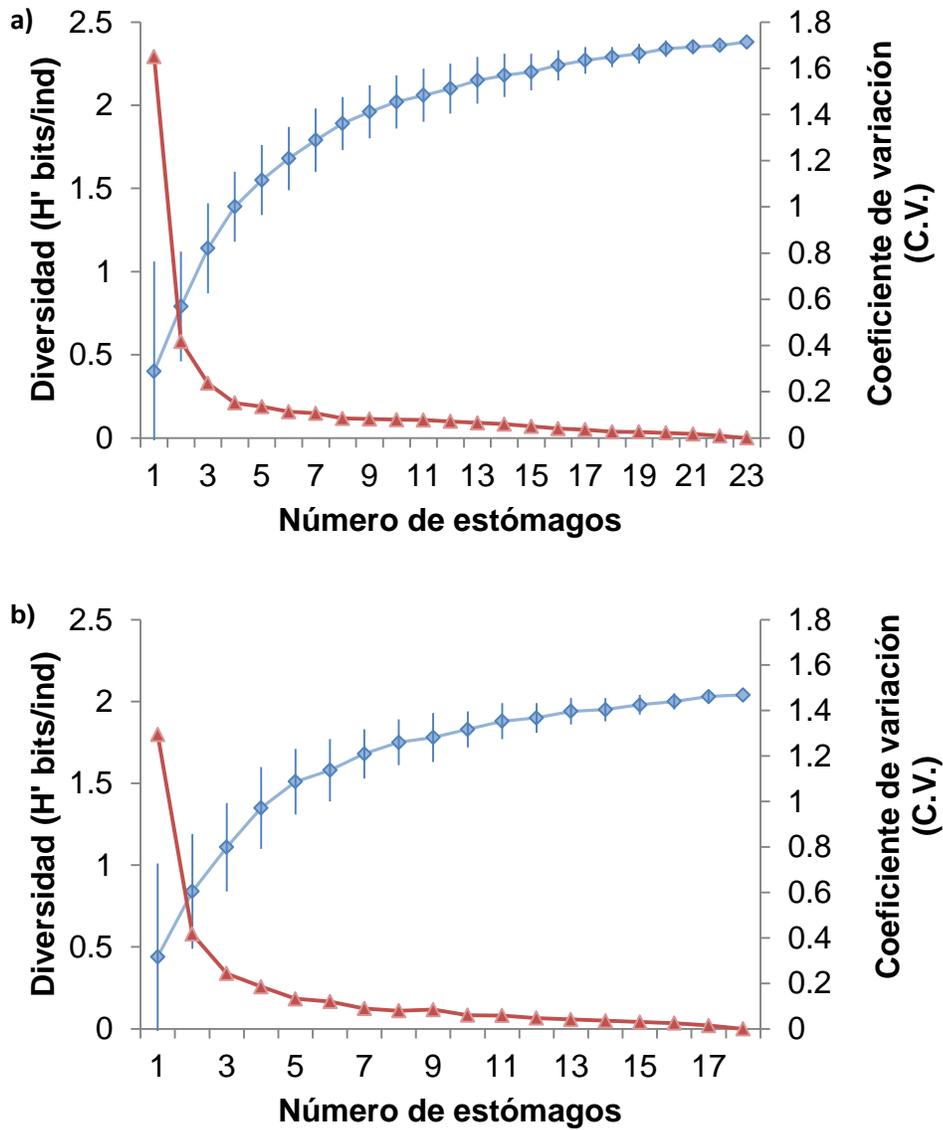
<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Hembras</b>	<b>Machos</b>	<b>Indefinido</b>	<b>Juveniles</b>	<b>Adultos</b>	<b>Indeterminados</b>
2011	marzo	1	5	0	4	1	1
	abril	0	0	0	0	0	0
	mayo	0	0	0	0	0	0
	junio	11	18	1	11	4	15
	julio	8	8	0	1	12	3
2012	marzo	0	0	0	0	0	0
	abril	5	5	0	7	3	0
	mayo	2	3	0	1	4	0
	junio	0	0	0	0	0	0
	julio	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>		<b>27</b>	<b>39</b>	<b>1</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>19</b>

## 8.2. Representatividad y homogeneidad bioquímica

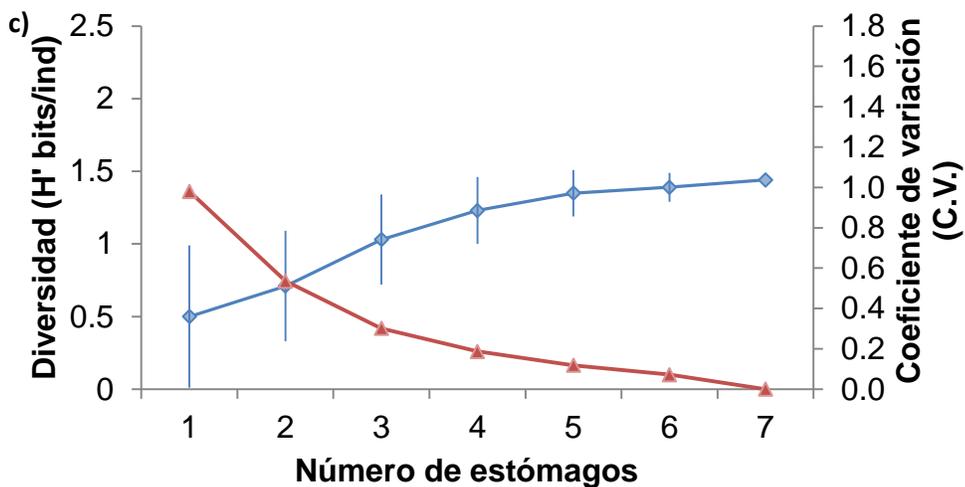
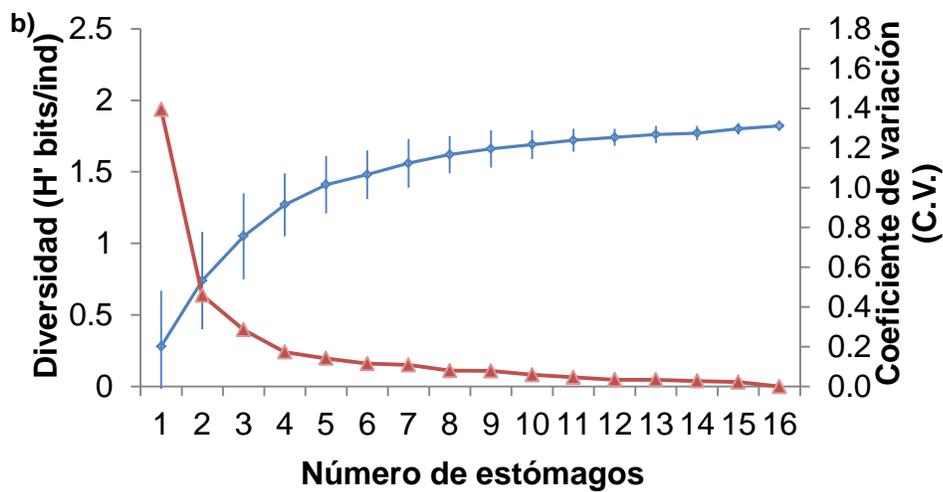
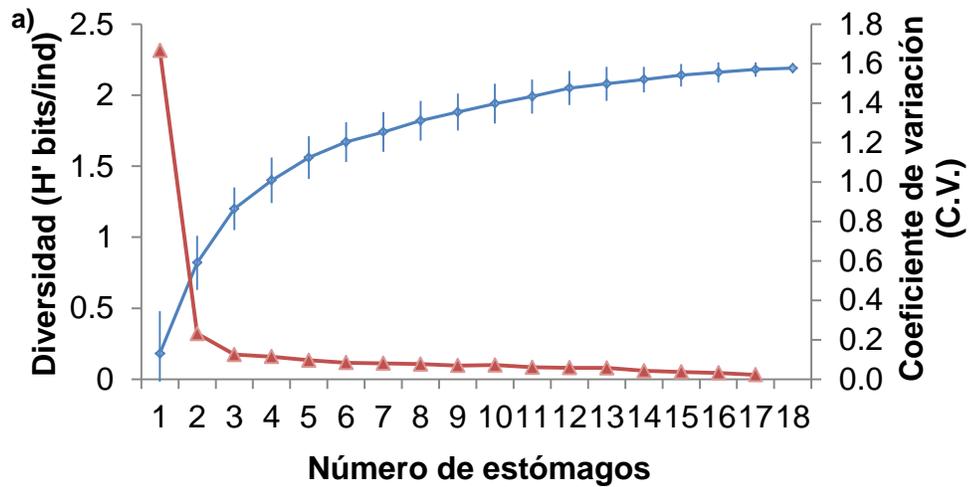
La curva acumulada general de especies presas, muestra que el número de estómagos analizados fue suficiente para caracterizar el espectro trófico, ya que en el estómago 21 se alcanzó un coeficiente de variación (C.V.) menor a 0.05 (C.V.= 0.046) (Fig. 7). Asimismo, al realizar la curva para sexos (Fig. 8) y estadios de madurez (Fig. 9), se observó una homogeneidad adecuada; a excepción de los organismos de madurez indeterminada. Sin embargo, como los valores de C.V. de los indeterminados (C.V.= 0.72; Fig. 9c), están cercanos al coeficiente mínimo (C.V.= 0.05) se consideró como un tamaño representativo de la dieta, puesto que son mínimos los estómagos que faltarían analizar para alcanzar dicho valor.



**Figura 7.-** Curva acumulada de especies presas de *Raja velezi*. Donde los rombos demuestran la diversidad de Shannon con su desviación estándar (DE), y los triángulos muestran el coeficiente de variación (C.V.).

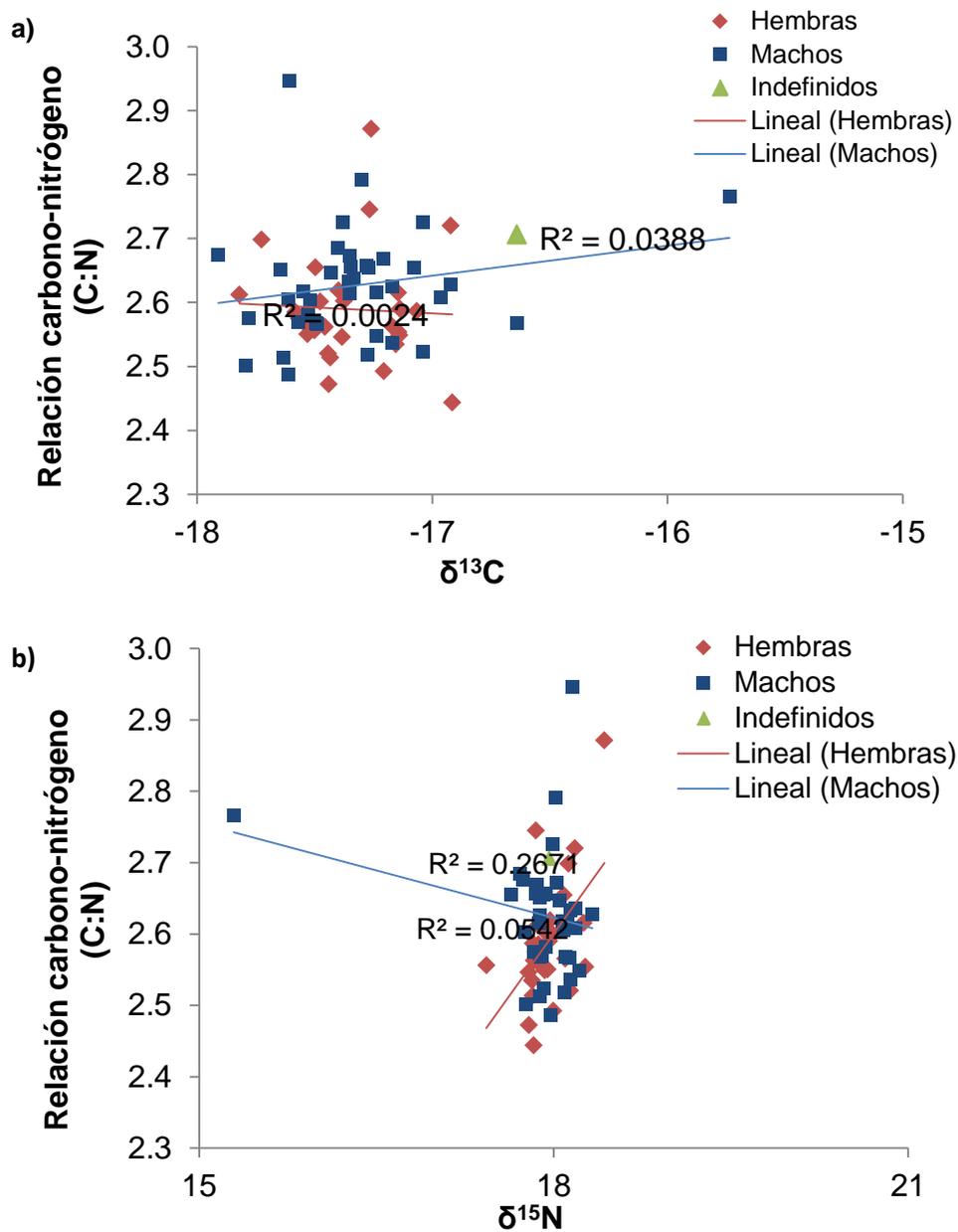


**Figura 8.-** Curva acumulada de especies presas de hembras (a) y machos (b) de *Raja velezi*. Donde los rombos muestran la diversidad de Shannon con su desviación estándar (DE), y los triángulos muestran el coeficiente de variación (C.V.).



**Figura 9.-** Curva acumulada de especies presas de juveniles (a), adultos (b) e indeterminados (c) de *Raja velezi*. Donde los rombos muestran la diversidad de Shannon con su desviación estándar (DE), y los triángulos muestran el coeficiente de variación (C.V.).

Los músculos de *R. velezi*, registraron valores de carbono:nitrógeno (C:N) entre 2.4 a 2.9 con un promedio de 2.6 y una desviación estándar (DE) de  $\pm 0.09$ , encontrándose la mayoría entre los valores teóricos de proteínas puras (2.5–3.5). Sin embargo, como en los valores menores de 2.5 hay presencia de urea que pueden modificar el resultado, se decidió eliminar de los análisis posteriores, la muestra cuyo valor era 2.4 (Fig. 10).



**Figura 10.-** Relación C:N v/s  $\delta^{13}\text{C}$  (a) y  $\delta^{15}\text{N}$  (b) de *Raja velezi* en Punta Lobos, Baja California Sur.

## 8.2 Espectro trófico

### Espectro trófico general

El espectro trófico de *R. velezi* se constituyó de 15 especies presas, de las cuales 11 fueron peces, 2 crustáceos y 2 cefalópodos, correspondientes a 7 familias, 13 géneros y 13 especies (Tabla III).

Se contabilizó un total de 68 organismos presas en la dieta general de *R. velezi*; y de acuerdo al método numérico (%N), las presas más abundantes fueron el pez *Pronotogrammus multifasciatus* con 17.6 %, seguido del calamar *Lolliguncula diomedea* 14.7 % y el camarón *Sicyonia disedwardsi* con 11.8 %. El resto de las especies presas se encontraron en porcentajes menores a 8.8 %, sumando en total el 55.9 % (Tabla III; Fig. 11).

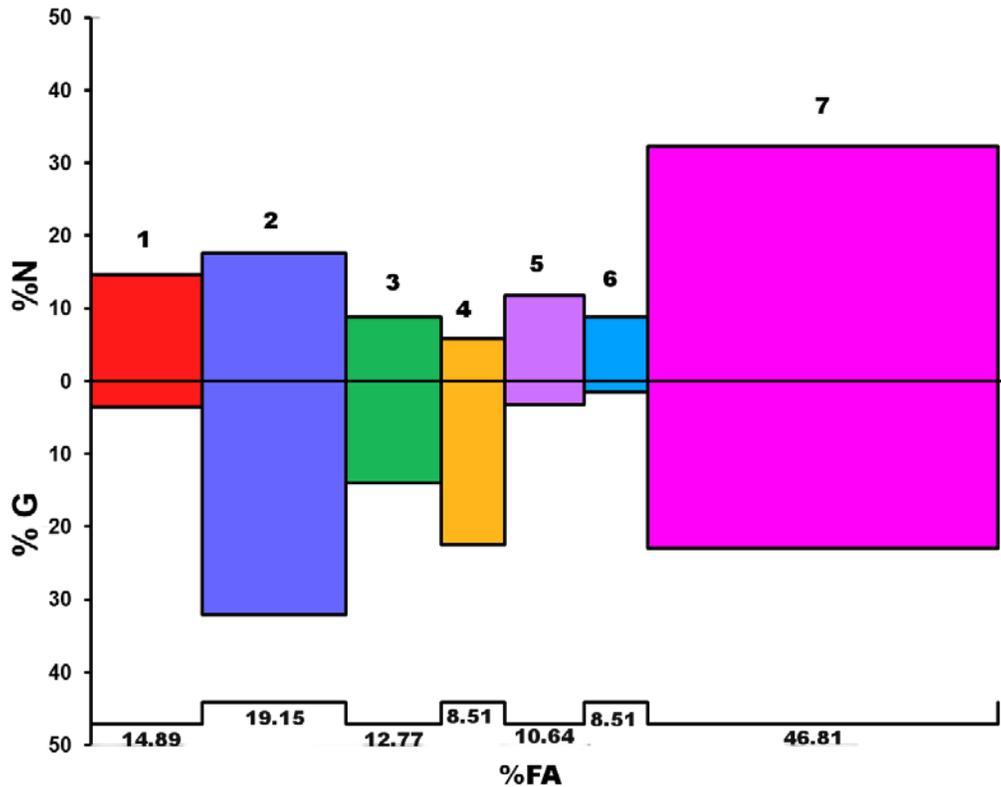
El peso total de las especies presas fue de 838.99 g, de los cuales las presas que mayor porcentaje aportaron, fueron los peces *P. multifasciatus* (32.2 %), *Diplectrum labarum* (22.5 %) y *S. scituliceps* (14 %). El resto de las especies presas presentaban porcentajes menores de 6.5 %, sumando en total 31.3 % (Tabla III; Fig. 11).

De acuerdo al método de frecuencia de aparición (%FA), las especies de mayor frecuencia en los estómagos fueron los peces *P. multifasciatus* con 19.1 %, *S. scituliceps* con 12.8 %, el calamar *L. diomedea* con 14.9 % y el camarón *S. disedwardsi* con 10.6 % (Tabla III; Fig. 11).

Integrando estos métodos, a partir de los análisis de contenido estomacal, se observó que *R. velezi* se alimenta de manera general de *P. multifasciatus* (%IIR= 41.1 %), *S. scituliceps* (%IIR= 12.6 %) y *L. diomedea* (%IIR= 11.7 %) (Fig. 11).

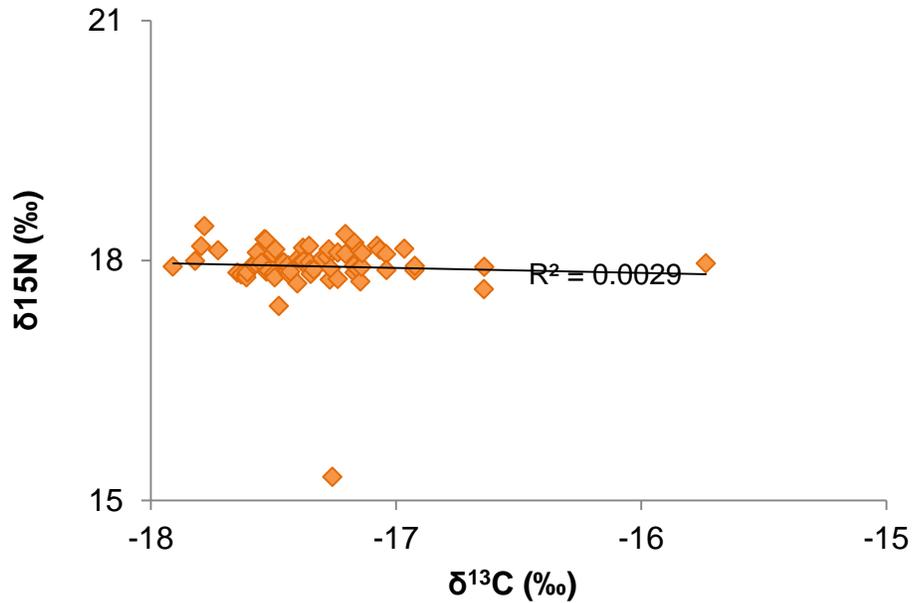
**Tabla III.-** Espectro trófico de *Raja velezi* en Punta Lobos, Baja California Sur.

Clase	Familia	Especie	%N	%G	%FA	%IIR	
Cephalopoda	Loliginidae	<i>Lolliguncula diomedea</i>	14.7	3.6	14.9	11.7	
	Restos de calamar	--	8.8	0.2	12.8	5.0	
Crustacea	Sicyoiidae	<i>Sicyonia disedwardsi</i>	11.8	3.3	10.6	6.9	
	Restos de crustáceos	--	2.9	0.1	4.3	0.6	
Teleostei	Batrachoididae	<i>Porichthys notatus</i>	4.4	0.6	6.4	1.4	
	Labridae	<i>Halichoeres dispilus</i>	2.9	3.4	4.3	1.2	
		<i>Decodon spp.</i>	4.4	5.0	6.4	2.6	
	Paralichthyidae	<i>Paralichthys spp.</i>	1.5	1.1	2.1	0.2	
	Phosichthyidae	<i>Vinciguerria lucetia</i>	8.8	1.5	8.5	3.8	
	Serranidae	Serranidae		1.5	5.8	2.1	0.7
		<i>Diplectrum labarum</i>		5.9	22.5	8.5	10.4
		<b><i>Pronotogrammus multifasciatus</i></b>		<b>17.6</b>	<b>32.2</b>	<b>19.1</b>	<b>41.1</b>
		<i>Serranus aequidens</i>		1.5	6.5	2.1	0.7
	Synodontidae	<i>Synodus scituliceps</i>		8.8	14.0	12.8	12.6
Restos de peces	--		4.4	0.4	6.4	1.3	



**Figura 11.-** Espectro trófico general de la raya *Raja velezi* expresado en los valores porcentuales del método numérico (%N), método gravimétrico (%G) y el método de frecuencia de aparición (%FA). Donde 1: *Lolliguncula diomedea*, 2: *Pronotogrammus multifasciatus*, 3: *Synodus scituliceps*, 4: *Diplectrum labarum*, 5: *Sicyonia disedwardsi*, 6: *Vinciguerria lucetia* y 7: Otros.

Por otra parte, los valores de las razones isotópicas de las biopsias de músculo para  $\delta^{13}\text{C}$ , se encontraron en un intervalo de -17.9 ‰ a -16.6 ‰, con un promedio de -17.3 ( $\pm 0.3$  DE); mientras que los valores de las razones isotópicas de  $\delta^{15}\text{N}$ , se encontraron entre el intervalo 17.4 ‰ y 18.4 ‰ con promedio de 17.9 ( $\pm 0.4$  DE) (Fig. 12). Asimismo, se obtuvo el valor isotópico de las principales presas de *R. velezi*, cuyos valores variaron de -19.7 a -18.2 ‰ para  $\delta^{13}\text{C}$  y de 16.2 a 19 ‰ para  $\delta^{15}\text{N}$  (Tabla IV).



**Figura 12.-** Distribución de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en musculo dorsal de *Raja velezi* en el campo pesquero de Punta Lobos, Baja California Sur.

**Tabla IV.-** Valores isotópicos de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) y nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ) de las presas de *Raja velezi* en Punta Lobos, Baja California Sur.

Espece presa	$\delta^{13}\text{C} (\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N} (\text{‰})$	C:N
<i>Decodon spp</i>	-18.34	18.34	3.3
<i>Diplectrum labarum</i>	-18.49	17.72	3.2
<i>Halichoeres dispilus</i>	-18.58	18.95	3.4
<i>Lolliguncula diomedeeae</i>	-19.21	16.49	3.2
<i>Porichthys notatus</i>	-19.75	16.23	3.2
<i>Pronotogrammus multifasciatus</i>	-19.06	17.86	3.4
<i>Serranus aequidens</i>	-18.16	18.28	3.2
<i>Sicyonia disedwardsi</i>	-18.48	17.00	3.5
<i>Vinciguerria lucetia</i>	-18.96	16.55	2.9

Con base en los valores anteriores, se identificó a *Vinciguerria lucetia* como la presa que más aportó a la dieta de *R. velezi* con porcentajes del 70 al 79 %; seguida de *S. disedwardsi*, con porcentajes que van de 5.2 % a 70.5 % (Tabla V).

**Tabla V.-** Porcentaje del aporte isotópico de las presas en la dieta de *Raja velezi* entre meses, al 95% según MixSir.

<b>Especies presas</b>	Abril	Mayo	Julio	Mediana
<i>Halichoeres dispilus</i>	0.02	0.05	0.01	0.02
<i>Vinciguerria lucetia</i>	0.71	0.79	0.75	0.75
<i>Decodon spp</i>	0.03	0.03	0.05	0.03
<i>Serranus aequidens</i>	0.03	0.08	0.01	0.03
<i>Pronotogrammus multifasciatus</i>	0.03	0.02	0.01	0.02
<i>Porichthys notatus</i>	0.05	0.04	0.02	0.04
<i>Lolliguncula diomedea</i>	0.04	0.11	0.01	0.04
<i>Diplectrum labarum</i>	0.68	0.04	0.02	0.04
<i>Sicyonia disedwardsi</i>	0.13	0.71	0.05	0.13

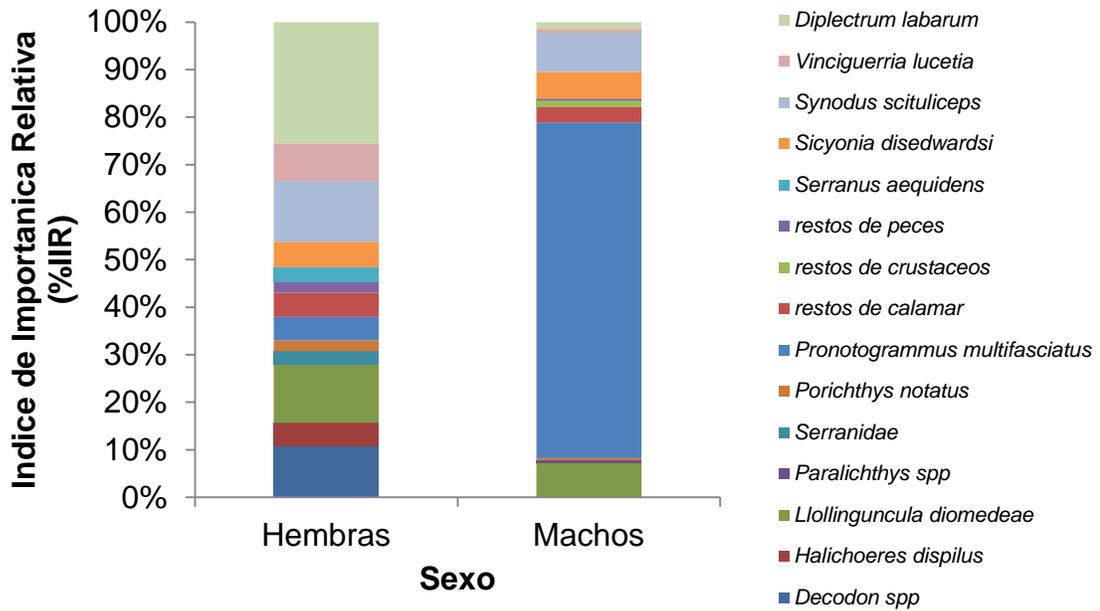
#### Espectro trófico por sexo

De las 30 hembras analizadas, 23 (77 %) presentaron alimento y 7 se encontraron sin contenido estomacal (23 %); mientras que de los 29 machos analizados, 18 (62 %) presentaron alimento y 11 (38 %) se encontraron sin contenido estomacal.

Al aplicar el %IIR para hembras, se observó que se alimentaron principalmente de *D. labarum* (25.5 %), *S. scituliceps* (12.8 %) y *L. diomedea* (12.3 %) (Tabla VI, Fig. 13). Mientras que los machos consumieron principalmente *P. multifasciatus* (70.6 %), *S. scituliceps* (8.2 %) y *L. diomedea* (7.2 %) (Tabla VI, Fig. 13).

**Tabla VI.-** Espectro trófico de las hembras (H) y machos (M) de *Raja velezi* en Punta Lobos, Baja California Sur.

Especie	%N		%G		%FA	
	H	M	H	M	H	M
<i>Lolliguncula diomedeeae</i>	11.4	18.2	4.1	3.1	17.4	16.7
Restos de calamar	8.6	9.1	0.0	0.4	13.0	16.7
<i>Sicyonia disedwardsi</i>	11.4	12.1	2.2	4.4	8.7	16.7
Restos de crustáceos	--	6.1	--	0.2	--	11.1
<i>Porichthys notatus</i>	5.7	3.0	0.1	1.1	8.7	5.6
<i>Halichoeres dispilus</i>	5.7	--	6.6	--	8.7	--
<i>Decodon spp</i>	8.6	--	9.6	--	13.0	--
<i>Paralichthys spp</i>	--	3.0	--	2.2	--	5.6
<i>Vinciguerrria lucetia</i>	11.4	6.1	1.9	1.0	13.0	5.6
Serranidae	2.9	--	11.2	--	4.3	--
<i>Diplectrum labarum</i>	8.6	3.0	34.5	9.7	13.0	5.6
<i>Pronotogrammus multifasciatus</i>	8.6	27.3	3.9	62.1	8.7	38.9
<i>Serranus aequidens</i>	2.9	--	12.6	--	4.3	--
<i>Synodus scituliceps</i>	8.6	9.1	13.0	15.2	13.0	16.7
Restos de peces	5.7	3.0	0.1	0.7	8.7	5.6



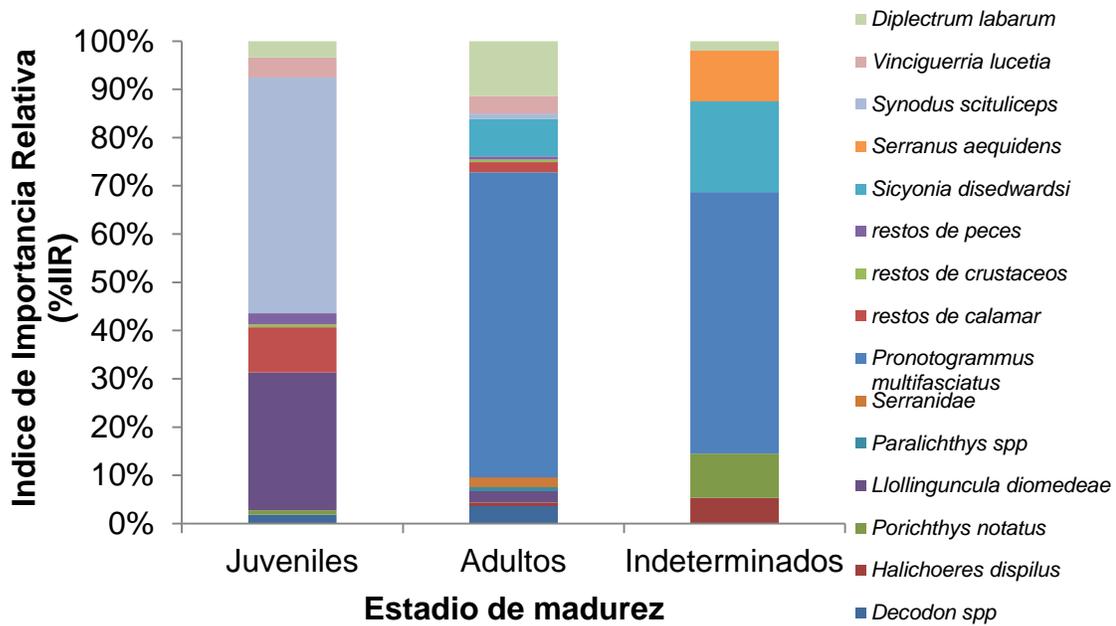
**Figura 13.-** Espectro trófico de hembras y machos de *Raja velezi* en Punta Lobos, Baja California Sur, expresado en porcentajes del índice de importancia relativa (%IIR).

#### Espectro trófico por estadios de madurez

Mediante el %IIR, se observó que los juveniles se alimentaron principalmente de *S. scituliceps* (48.9 %) y *L. diomedea* (28.6 %) (Tabla VII, Fig. 14). Así mismo, en los organismos adultos, se observó que las presas que aportaron un mayor porcentaje fueron, *P. multifasciatus* con 63.2 % y *D. labarum* con 11.4 % (Tabla VII; Fig. 14). Mientras que, en los organismos indeterminados, se observó que las especies presas que más porcentaje aportaron fueron *P. multifasciatus* (54.2 %) y *S. disedwardsi* (19.0 %) (Tabla VII; Fig. 14).

**Tabla VII.-** Espectro trófico de los organismos juveniles (J), adultos (A) e indeterminados (I) de *Raja velezi* en Punta Lobos, Baja California Sur.

Especie	%N			%G			%FA		
	J	A	I	J	A	I	J	A	I
<i>Lolliguncula diomedeeae</i>	28	6.9	--	13.2	1.0	--	31.3	11.1	--
Restos de calamar	16	6.9	--	0.9	0.0	--	25.0	11.1	--
<i>Sicyonia disedwardsi</i>	--	13.8	30.8	--	3.2	7.3	--	16.7	28.6
Restos de crustáceos	4	3.4	--	0.2	0.1	--	6.3	5.6	--
<i>Porichthys notatus</i>	4	--	15.4	2.4	--	2.9	6.3	--	28.6
<i>Halichoeres dispilus</i>	--	3.4	7.7	--	1.3	13.8	--	5.6	14.3
<i>Decodon spp</i>	4	6.9	--	9.3	4.8	--	6.3	11.1	--
<i>Paralichthys spp</i>	--	3.4	--	--	1.8	--	--	5.6	--
<i>Vinciguerrria lucetia</i>	12	10.3	--	2.9	1.4	--	12.5	11.1	--
Serranidae	--	3.4	--	--	9.9	--	--	5.6	--
<i>Diplectrum labarum</i>	4	6.9	--	20.5	30.3	--	6.3	11.1	--
<i>Pronotogrammus multifasciatus</i>	--	<b>27.6</b>	<b>30.8</b>	--	<b>41.3</b>	<b>41.8</b>	--	<b>33.3</b>	<b>42.9</b>
<i>Serranus aequidens</i>	--	--	7.7	--	--	33.7	--	--	14.3
<i>Synodus scituliceps</i>	<b>20</b>	3.4	--	<b>50.4</b>	4.2	--	<b>31.3</b>	5.6	--
Restos de peces	8	3.4	--	0.3	0.6	--	12.5	5.6	--



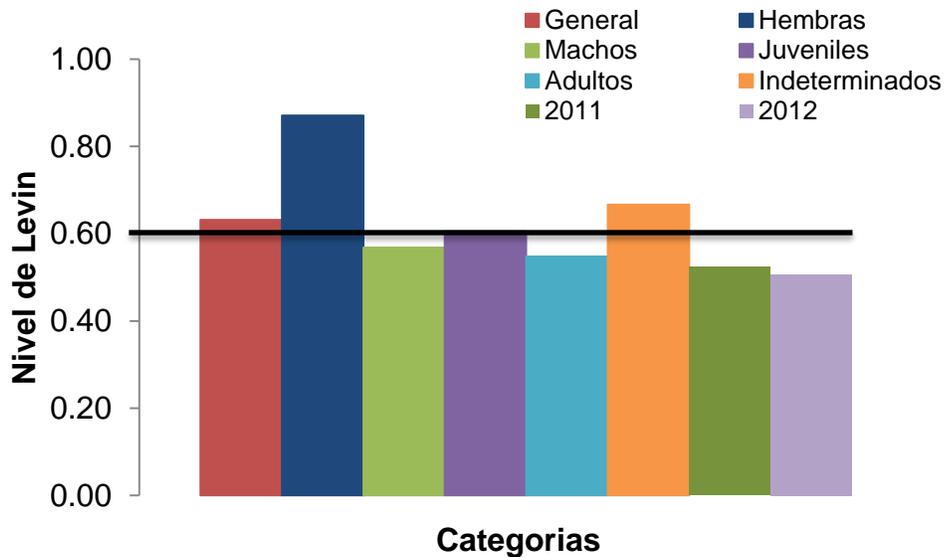
**Figura 14.-** Espectro trófico de *Raja velezi* durante los diferentes estadios de madurez (juveniles, adultos e indeterminados) expresado en los valores porcentuales del Índice de Importancia Relativa (%IIR).

### 8.3 Amplitud y traslapo trófico

Cabe mencionar, que para los análisis posteriores no se analizó los estómagos en la escala mensual, debido a que en algunos meses se contaban con pocas muestras. Sin embargo, con el análisis de isótopos estables, sí se realizó la comparación entre meses.

De acuerdo al índice de Levin, se observó de manera general que *R. velezi* presenta una estrategia con tendencia a generalista ( $B_i = 0.63$ ). Sin embargo, al aplicar los índices de forma intraespecífica, se observó que las hembras ( $B_i = 0.87$ ) presentan una estrategia alimenticia más generalista que los machos, quienes presentan un valor que sugiere una estrategia especialista ( $B_i = 0.57$ ). Así mismo, se observó que, los organismos adultos presentan una dieta que tiende a especialista ( $B_i = 0.55$ ), mientras que los juveniles e indeterminados presentan una dieta que tiende a ser más generalista ( $B_i = 0.61$  y  $B_i = 0.67$ , respectivamente). Por su parte, al

realizar el análisis entre años, se observó que en ambos años, presentan valores que proponen una dieta especialista ( $B_i = 0.52$  y  $B_i = 0.51$ , respectivamente) (Fig. 15).



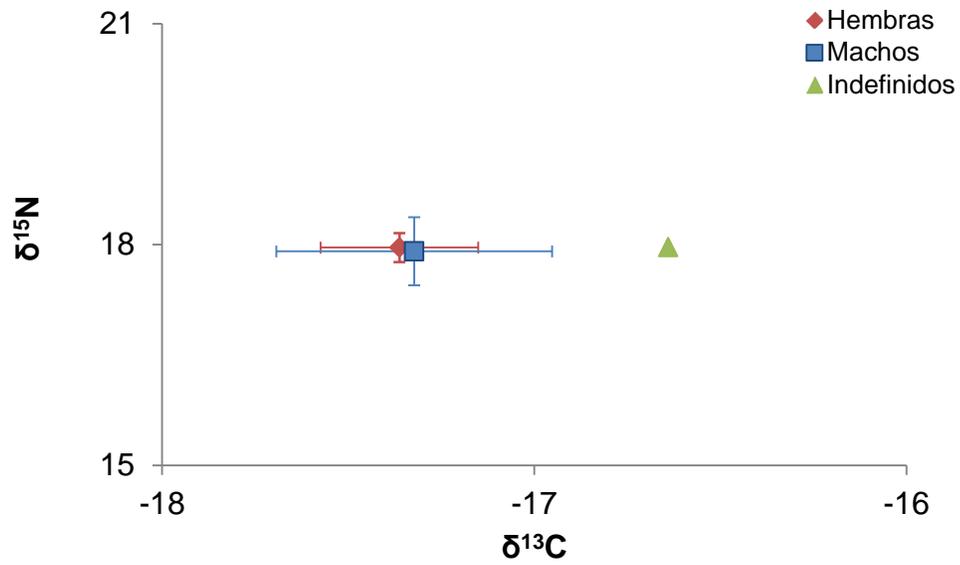
**Figura 15.-** Valores de amplitud trófica, obtenidos a partir del índice de Levin. Donde los valores mayores a 0.6 indica estrategia generalista y valores menores a 0.6 indican estrategia especialista.

De acuerdo con el índice de Shannon ( $H'$ ), *R. velezi* presenta una diversidad de  $H' = 0.38$ , mientras que de forma intraespecífica, los valores son muy similares, observando un valor de  $H' = 0.34$  para hembras y  $H' = 0.43$  para machos. Asimismo, al emplear el índice con base al estado de madurez se observó que, los organismos juveniles presentaron un valor de  $H' = 0.37$ , los adultos un valor de  $H' = 0.38$  y los indeterminados un valor de  $H' = 0.40$ . Mientras que al realizar el análisis con base a los años, se observó un valor de diversidad de  $H' = 0.35$  para el 2011 y de  $H' = 0.44$  para el 2012.

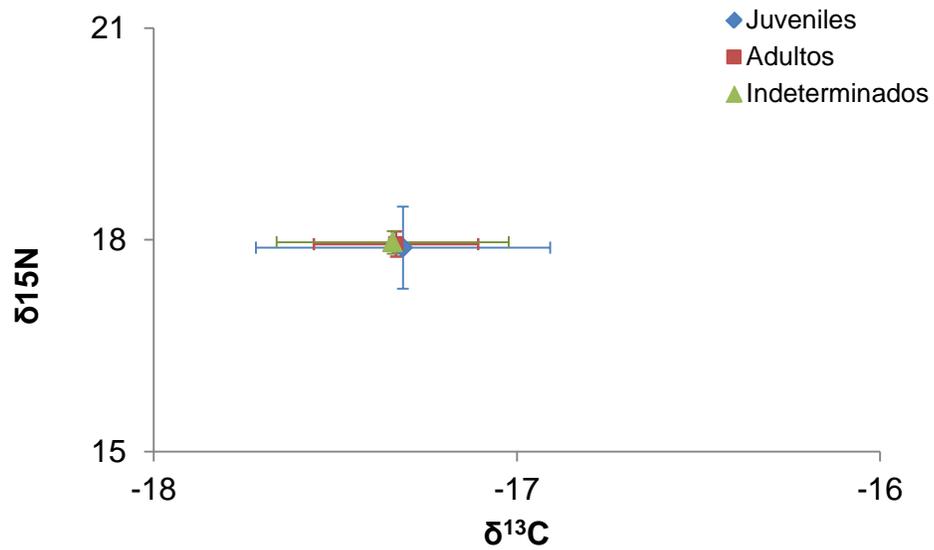
Con respecto a la amplitud trófica a partir del  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  (Bearhop *et al.*, 2004), de manera general se observó una mínima variabilidad en las desviaciones estándares de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , observando desviaciones de 0.32 y 0.37 ; mientras que, en sexo fueron de 0.2 a 0.5 (Fig. 16), de 0.2 ‰ a 0.6 ‰ en estadio de madurez (Fig. 17), de 0.1 ‰ a 0.5 ‰ en meses (Fig. 18) y de 0.2 ‰ a 0.4 ‰ en años (Fig. 19) (Tabla VIII).

**Tabla VIII.-** Valores de amplitud trófica calculados para *Raja velezi* a partir de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  (Bearhop *et al.*, 2004), en Punta Lobos, Baja California Sur.

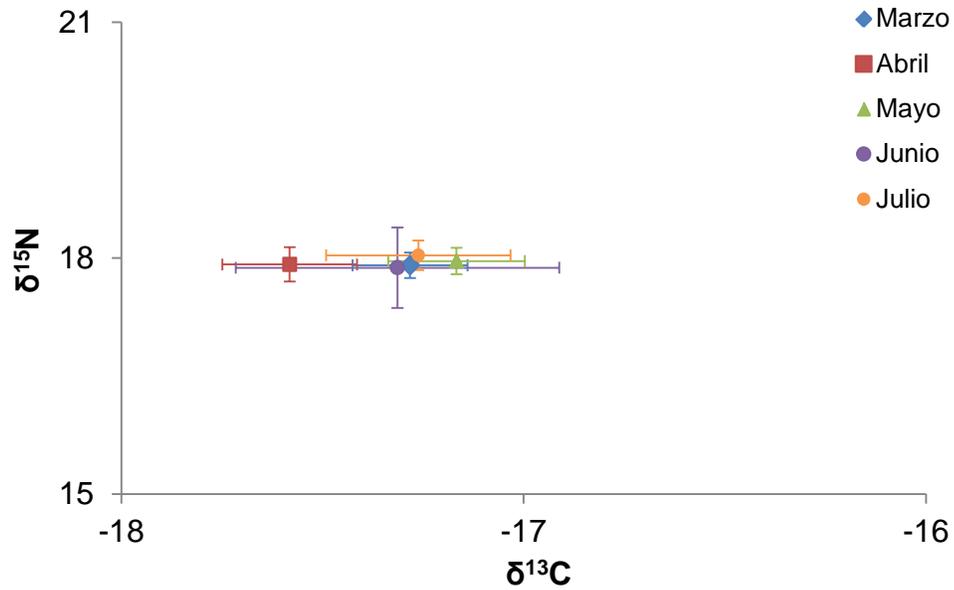
Categoría		$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
		Promedio ( $\pm$ DE)	Promedio ( $\pm$ DE)
Sexos	Hembras	-17.36 (0.2)	17.96 (0.2)
	Machos	-17.32 (0.4)	17.91 (0.5)
	Indeterminados	-16.64	17.96
Estadios de madurez	Juveniles	-17.31 (0.4)	17.89 (0.6)
	Adultos	-17.33 (0.2)	17.94 (0.2)
	Indeterminados	-17.34 (0.3)	17.97 (0.2)
Meses	Marzo	-17.28 (0.1)	17.91 (0.2)
	Abril	-17.58 (0.2)	17.92 (0.2)
	Mayo	-17.17 (0.2)	17.96 (0.2)
	Junio	-17.31 (0.4)	17.88 (0.5)
	Julio	-17.26 (0.2)	18.04 (0.2)
Años	2011	-17.3 (0.3)	(17.9 (0.4)
	2012	-17.4 (0.3)	17.9 (0.2)
General		-17.33 (0.32)	17.93(0.37)



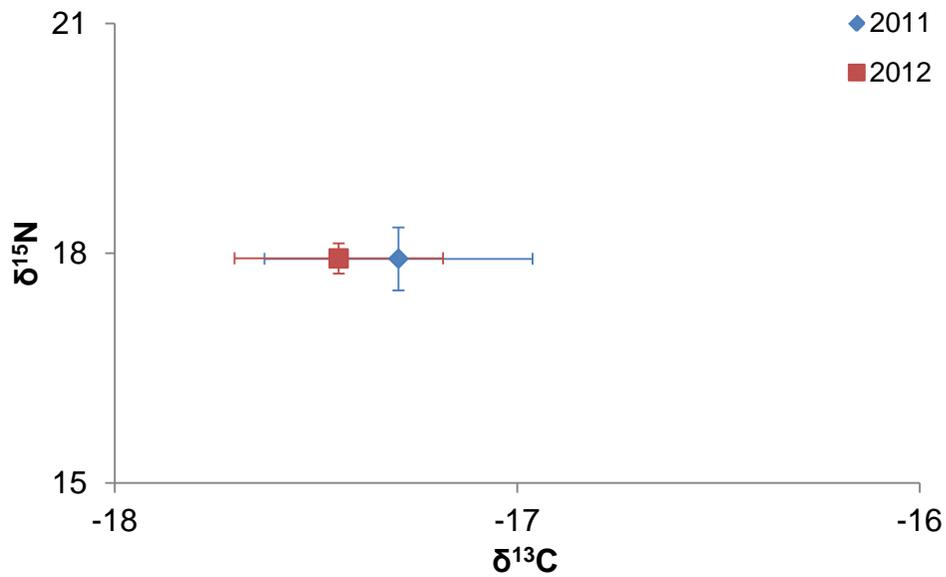
**Figura 16.-** Valores promedio y desviación estándar de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de *Raja velezii* por sexo.



**Figura 17.-** Valores promedio y desviación estándar de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de *Raja velezii* por estadios de madurez.

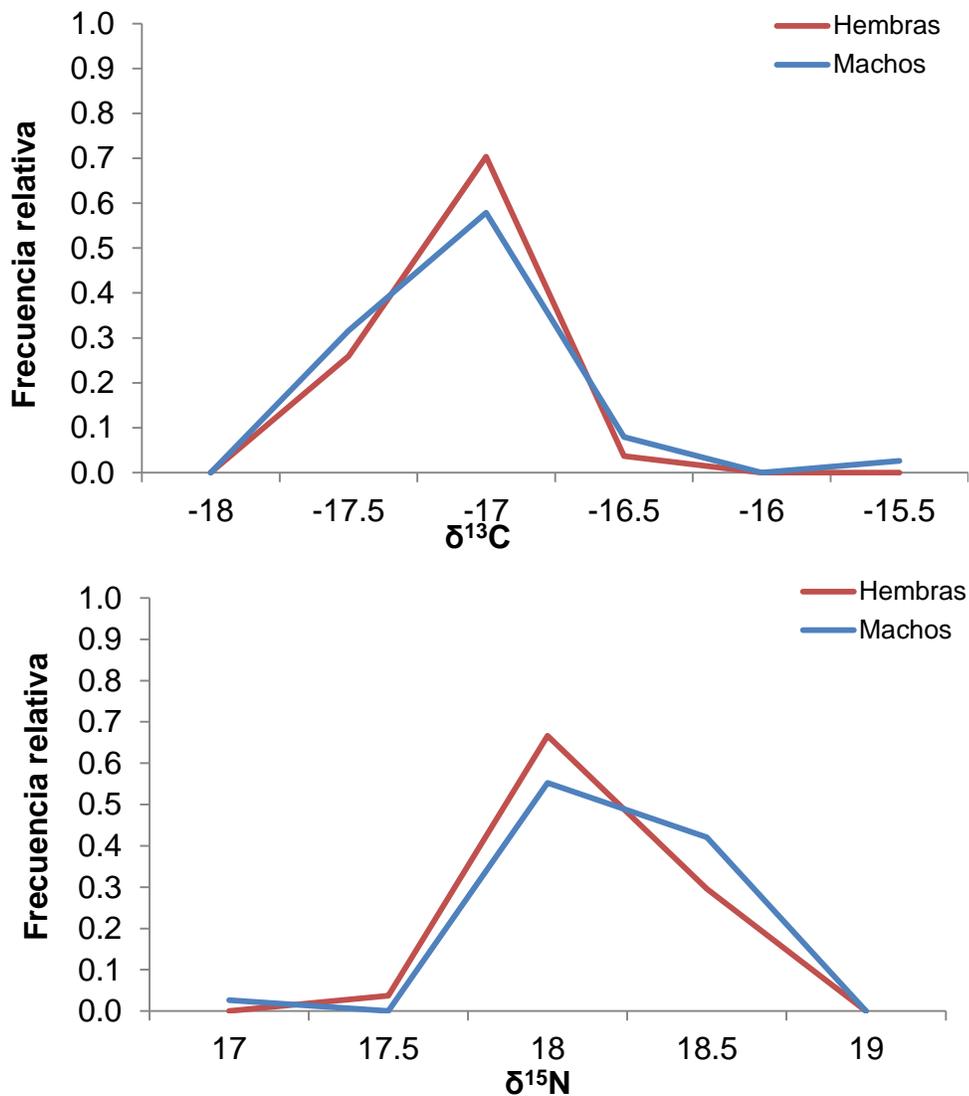


**Figura 18.-** Valores promedio y desviación estándar de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de *Raja velezi* por meses.



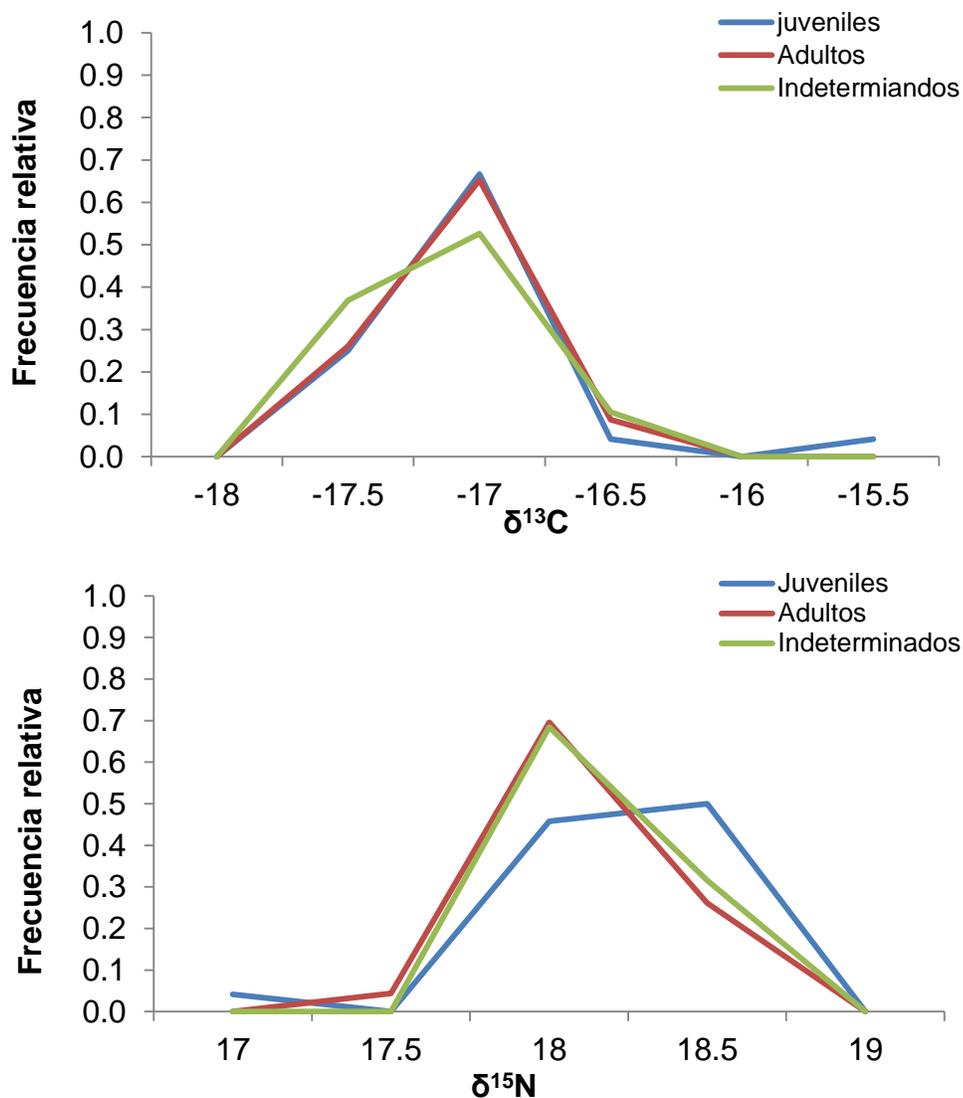
**Figura 19.-** Valores promedio y desviación estándar de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de *Raja velezi* por años

Al realizar la comparación de la dieta entre sexos, con el análisis de similitud (ANOSIM), se observó valores cercanos a cero ( $R_{\text{global}} = -0.001$ ,  $p = 44.7\%$ ), es decir, una alta similitud en la dieta de hembras, machos e indefinidos. Asimismo, a partir del  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , se obtuvo valores muy similares entre hembras ( $\delta^{13}\text{C} = -17.36 \pm 0.212\text{‰}$ ;  $\delta^{15}\text{N} = 17.96 \pm 0.197\text{‰}$ ), machos ( $\delta^{13}\text{C} = -17.32 \pm 0.370\text{‰}$ ;  $\delta^{15}\text{N} = 17.91 \pm 0.463\text{‰}$ ) e indefinidos ( $\delta^{13}\text{C} = -16.64\text{‰}$ ;  $\delta^{15}\text{N} = 17.96\text{‰}$ ); por lo que no se observó diferencias significativas entre sexos ( $\delta^{13}\text{C}$ :  $H_{(2, 66)} = 2.7$ ,  $p = 0.3$ ;  $\delta^{15}\text{N}$ :  $H_{(2, 66)} = 0.2$ ,  $p = 0.9$ ) (Fig. 20).



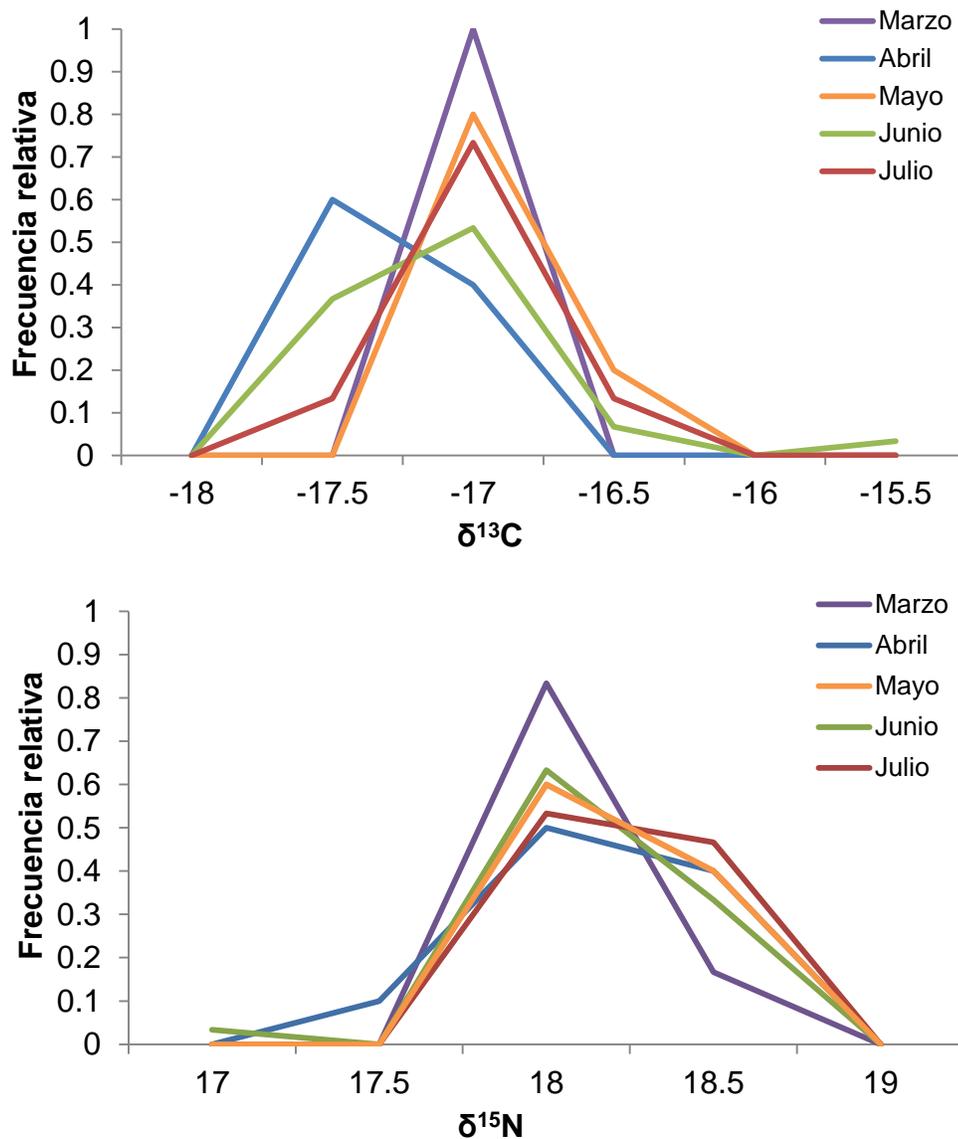
**Figura 20.-** Similitud de dieta (traslapo trófico) de las hembras y machos de *Raja velezi* de acuerdo con Newsome *et al.*, (2006).

Por otra parte, al comparar las dietas entre estadios de madurez, con el análisis de similitud, se observó una alta similitud en la dieta de los juveniles, adultos e indeterminados, al obtener valores cercanos a cero ( $R_{\text{global}} = 0.064$ ,  $p = 2.5\%$ ). Asimismo, a partir del  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , no se observó diferencias significativas entre estadios de madurez ( $\delta^{13}\text{C}$ :  $H_{(2, 66)} = 0.3$ ,  $p = 0.9$ ;  $\delta^{15}\text{N}$ :  $H_{(2, 66)} = 0.7$ ,  $p = 0.7$ ) (Fig. 21), debido a que se obtuvo valores muy similares entre juveniles ( $\delta^{13}\text{C} = -17.31 \pm 0.405\text{‰}$ ;  $\delta^{15}\text{N} = 17.89 \pm 0.581\text{‰}$ ), adultos ( $\delta^{13}\text{C} = -17.33 \pm 0.226\text{‰}$ ;  $\delta^{15}\text{N} = 17.94 \pm 0.178\text{‰}$ ) e indeterminados ( $\delta^{13}\text{C} = -17.34 \pm 0.320\text{‰}$ ;  $\delta^{15}\text{N} = 17.97 \pm 0.160\text{‰}$ ).



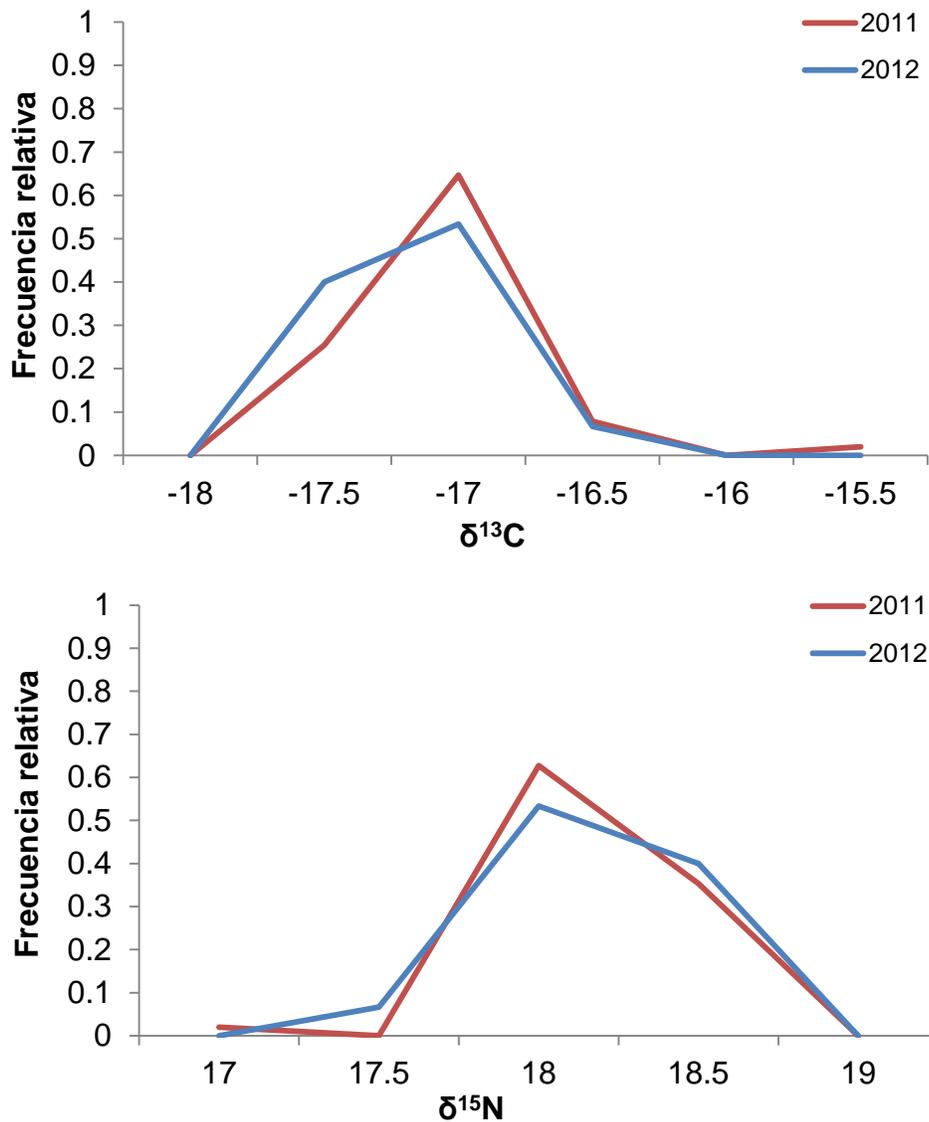
**Figura 21.** Similitud de dieta (traslapo trófico) de juveniles, adultos e indeterminados de *Raja velezi* de acuerdo con Newsome *et al.*, (2006).

Asimismo, al realizar la comparación de la dieta entre meses (marzo, abril, mayo, junio y julio), con el análisis de similitud, se observó valores cercanos a cero ( $R_{\text{global}} = 0.113$ ,  $p = 0.3\%$ ), es decir, una alta similitud en la dieta de *R. velezi* entre meses. Sin embargo, a partir del  $\delta^{13}\text{C}$  se observó diferencias significativas entre meses ( $H_{(4, 66)} = 15.4$ ,  $p = 0.004$ ); específicamente entre los meses de abril y mayo, y entre abril y julio (prueba Dunn  $< 0.05$ , respectivamente). Contrario a esto, a partir de  $\delta^{15}\text{N}$  no se observó diferencias significativas entre los meses ( $H_{(4, 66)} = 2.9$ ,  $p = 0.6$ ) (Fig. 22).



**Figura 22.** Similitud la dieta (traslape trófico) de *Raja velezi* entre meses, de acuerdo con Newsome *et al.*, (2006).

De igual forma, al comparar la dieta entre años (2011 y 2012), con ANOSIM, se observó una alta similitud ( $R_{\text{global}} = 0.061$ ,  $p = 3.7\%$ ). Asimismo, los valores obtenidos a partir del  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  para el 2011 ( $\delta^{13}\text{C} = -17.3 \pm 0.33\text{‰}$ ;  $\delta^{15}\text{N} = 17.9 \pm 0.41\text{‰}$ ), fueron muy similares a los del 2012 ( $\delta^{13}\text{C} = -17.4 \pm 0.26\text{‰}$ ;  $\delta^{15}\text{N} = 17.9 \pm 0.20\text{‰}$ ); por lo que no se observó diferencias significativas entre años ( $\delta^{13}\text{C}$ :  $H_{(1, 66)} = 2.76$ ,  $p = 0.1$ ;  $\delta^{15}\text{N}$ :  $H_{(1, 66)} = 0.190$ ,  $p = 0.7$  (Fig. 23).



**Figura 23.** Similitud (traslapo) de la dieta de *Raja velezi* entre años, de acuerdo con Newsome *et al.*, (2006).

#### 8.4 Posición trófica

Al estimar la posición trófica a partir del análisis de contenido estomacal, se observó que la raya *R. velezi* presenta posiciones tróficas que van de 3.52 a 5.5, teniendo en promedio una posición trófica de 4.7 ( $\pm 0.52$  DE) (Tabla XI). De manera intraespecífica, no se encontró diferencias significativas en la posición trófica entre sexos ( $U_{(23, 18)} = 185$ ,  $p = 0.6$ ) y entre años ( $U_{(30, 11)} = 113$ ,  $p = 0.126$ ); sin embargo, si se encontró diferencias significativas entre estadios de madurez ( $U_{(2, 41)} = 8.38$ ,  $p = 0.02$ ). Cabe señalar, q no se pudo realizar la comparación entre meses debido a las falta de variedad de estos, puesto que no todos los meses se logró obtener el mismo número de muestras.

Por otra parte, al estimar la posición trófica mediante el análisis de  $\delta^{15}\text{N}$ , no se observó diferencias significativas entre sexo ( $H_{(2, 66)} = 0.23$ ,  $p = 0.9$ ), estadio de madurez ( $H_{(2, 66)} = 0.694$ ,  $p = 0.7$ ), meses ( $H_{(4, 66)} = 2.91$ ,  $p = 0.6$ ) y años ( $H_{(1, 66)} = 0.190$ ,  $p = 0.7$ ); presentando una posición trófica mínima de 2.6 y máxima de 3.5, teniendo en promedio 3.33 ( $\pm 0.10$  DE) (Tabla XI).

**Tabla VIII.-** Valores de posición trófica calculados para *Raja velezi* en Punta Lobos, Baja California Sur.

Técnica	Categoría	PT		PT		
		Mínima	Máxima	Promedio (±DE)		
Contenido estomacal	Sexos	Hembras	4.1	5.3	4.7 (0.43)	
		Machos	3.5	5.5	4.7 (0.63)	
	Estadios de madurez	Adultos	3.5	5.5	4.6 (0.57)	
		Juveniles	4.7	5.2	5.0 (0.20)	
		Indeterminados	4.0	5.0	4.5 (0.43)	
	Años	2011	3.5	5.5	4.6 (0.54)	
		2012	4.2	5.3	4.9 (0.39)	
	General			4.7 (±0.52)		
	Isótopos estables	Sexos	Hembras	3.2	3.5	3.3 (0.05)
			Machos	2.6	3.4	3.3 (0.13)
Indeterminados			-	-	3.3	
Estadios de madurez		Adultos	3.2	3.4	3.3 (0.05)	
		Juveniles	2.6	3.4	3.3 (0.16)	
		Indeterminados	3.3	3.5	3.3 (0.04)	
Meses		Marzo	3.3	3.4	3.3 (0.05)	
		Abril	3.2	3.4	3.3 (0.06)	
		Mayo	3.3	3.4	3.3 (0.05)	
		Junio	2.6	3.4	3.3 (0.14)	
		Julio	3.3	3.5	3.4 (0.05)	
		Años	2011	2.6	3.5	3.3 (0.11)
2012			3.2	3.4	3.3 (0.05)	
General			3.3 (±0.10)			

## 9. DISCUSIÓN

La necesidad de manejar ecosistemas marinos ha incrementado el interés de los ecólogos y científicos pesqueros en diseñar modelos tróficos de cada ecosistema (Pérez-España, 1994); por ello, la necesidad de conocer la dieta de cualquier organismo, ya que estos estudios tróficos representan la integración de componentes ecológicos fundamentales como comportamiento, uso de hábitat, interacciones intraespecíficas e interespecíficas, condición del animal y aporte de energía (Chipp y Garvey, 2006).

El presente estudio abordó, la ecología alimentaria de *R. velezi*, la cual es una especie de elasmobranquio de importancia pesquera en la costa occidental de Baja California Sur (Ramírez-Amaro *et al.*, 2013).

El número de estómagos y músculos obtenidos estuvo supeditado a la captura efectuada por las flotas pesqueras, así como la variabilidad estacional del recurso, ya que los pescadores solo se dedican a la captura de elasmobranquios durante los meses de marzo a julio y posteriormente se dedican a la pesca de peces de “escama”. De igual forma, si ellos miran un “buen” cardumen de peces de “escama”, se dedican a su pesca, así sea temporada de pesca de elasmobranquios (com.pers.).

El definir porcentajes de llenado y estados de digestión de las presas, es importante para determinar el periodo en el cual los organismos consumen a sus presas (Cabrera Chávez-Costa *et al.*, 2010; Andrade-González, 2005), ya que se ha observado que dependiendo de estas características se puede interpretar el comportamiento alimentario del depredador y si este prefiere algún momento del día (amanecer o atardecer) para alimentarse.

Durante las dos temporadas de muestreo que incluyó el estudio, se encontró un número reducido de estómagos sin alimento (28.81 %), coincidiendo con lo

reportado para otras especies de batoideos (Scenna *et al.*, 2006; Moreno *et al.*, 2009; Simental-Anguiano, 2011; Navarro-González *et al.*, 2012; Santic *et al.*, 2012). A su vez, los estómagos con alimento se encontraron en diferentes niveles de llenado; sin embargo, se observó que los estómagos se encontraban en su mayoría con un porcentaje de llenado bajo (1 -25 %) y las presas con un estado de digestión avanzado (estado 3 principalmente).

Con base en lo anterior, y considerando que *R. velezi* es capturada en el transcurso de la noche, se infiere que esta especie de raya utiliza la zona como área de alimentación, principalmente durante el día, como es el caso de otros batoideos (Simental-Anguiano, 2011; Santic *et al.*, 2012); o bien, presenta una digestión relativamente baja con respecto a su frecuencia de alimentación, como ya ha sido reportado para otras especies de elasmobranquios (Cortés *et al.*, 1996; Scenna *et al.*, 2006).

Por su parte, los valores de C:N de los músculos de *R. velezi*, oscilaron dentro de los niveles óptimos de homogeneidad, 2.5 – 2.9 (Post *et al.*, 2007; Kim y Koch, 2011); a excepción del valor de 2.4 que fue eliminado, ya que la presencia de urea en un tejido podría dar resultados de valores más negativos de  $\delta^{13}\text{C}$ , por lo que podría ser interpretado erróneamente como cambios en la dieta o de hábitat (Torres-Rojas *et al.*, 2013), por lo que se puede señalar que los valores de C:N de los músculos de *R. velezi*, presentan una homogeneidad entre ellos, siendo válida su comparación.

Aurióles-Gamboa *et al.* (2009), mencionan que los factores que determinan los cambios en los valores isotópicos de los depredadores marinos son: la dieta, la fisiología (que afecta el fraccionamiento isotópico de la dieta de los tejidos) y las áreas de alimentación. Sobre esa base, y considerando que en este estudio, se utilizó un mismo tipo de tejido (músculo dorsal) de los organismos de *R. velezi*, se puede inferir que las diferencias fisiológicas dentro de esta especie son mínimas; y

por lo contrario, la dieta y el área de alimentación, son los principales factores que influyen en las posibles variaciones de los organismos.

Por su parte, la selectividad que tienen las rayas bentónicas por una determinada presa depende del tamaño y palatabilidad de la misma; así como de su accesibilidad, complementada con las características del aparato alimentario del depredador (Main, 1985). Navarro-González (2011), menciona que los batoideos presentan adaptaciones morfológicas en el aparato mandibular que facilitan la proyección de la mandíbula, habilitándolas para capturar presas enterradas en el sustrato. Desde este punto de vista, se logra entender que *R. velezi* presente una dieta compuesta de organismos demersales, coincidiendo con lo reportado para otros batoideos (Scenna *et al.*, 2006; Valenzuela-Quiñonez, 2009; Simental-Anguiano, 2011; Navarro-González *et al.*, 2012).

En el presente estudio, se observó que el espectro trófico de *R. velezi* está constituido por peces, crustáceos y cefalópodos, siendo los peces su alimento principal (%IIR = 75.856). Sin embargo, se ha observado que cambia sus preferencias alimenticias de acuerdo a la región. Espinoza *et al.*, (2012), mencionan que en la costa de Costa Rica, esta especie de batoideo se alimenta de decápodos, isópodos, estomatópodos, peces, cefalópodos, bivalvos y poliquetos; siendo los decápodos y los peces los organismos de mayor importancia para la dieta de *R. velezi*.

No obstante, a pesar de tender a ser selectivo en sus presas dependiendo de la región, existen presas que *R. velezi* consume tanto en la costa occidental de B.C.S., como en la costa de Costa Rica, como son los peces *S. scituliceps* y *S. aquidens*; además, de ciertos géneros de peces, tales como *Diplectrum* y *Porichthys*, y un género de decápodo, *Sycionia*. Estas diferencias preferenciales de especies presas, probablemente sean por la estacionalidad y disponibilidad de las presas consumidas en cada zona (Torres-Rojas *et al.*, 2013); así como las habilidades

alimenticias y la profundidad que utilice *R. velezi* para su alimentación en cada región (Espinoza *et al.*, 2012).

Por su parte, la habilidad de succionar presas de fondos arenosos, explica la presencia de crustáceos en la dieta de *R. velezi*, como fue el caso del camarón *S. disedwardsi*, el cual, es frecuentemente encontrado en fondos mixtos (arena con conchillas o rocas), arenosos y, ocasionalmente, en fondos lodosos (Fisher *et al.*, 1995). De manera similar, esta habilidad (succionar) ayuda al consumo de cefalópodos, en particular el calamar *L. diomedea*, el cual, debido a los desplazamientos verticales que realiza, facilita su captura al asociarse al fondo durante el día (Arizmendi-Rodríguez, 2010).

En relación con *L. diomedea*, cabe mencionar que su presencia pudo haber sido subestimada, puesto que al presentar un tejido blando, puede ser fácilmente digerido, provocando un bajo porcentaje en el método gravimétrico (%G = 3.070), y consecuentemente, en el índice de importancia relativa (%IIR = 7.199). Aunado a esto, los picos (mandíbulas) de calamar están compuestos de quitina, por lo que son difíciles de digerir y suelen ser regurgitados, o bien, suelen acumularse en el estómago (Aurioles-Gamboa *et al.*, 2009); lo que pudo provocar una falsa interpretación, puesto que la mayoría de los cefalópodos encontrados, presentaban un alto estado de digestión (estado 4).

Con base en los análisis realizados en el presente estudio, se observó que las presas principales difirieron entre una técnica y otra, encontrándose al pez *P. multifasciatus* (% IIR = 41.067) como la presa principal en el análisis de contenido estomacal; mientras que, al realizar el análisis de isótopos estables de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , se observó al pez *V. lucetia* como la presa que más energía aportó a la dieta de *R. velezi* con porcentajes de 70 al 79.3 %. Esta diferencia puede deberse a que cada técnica tiene diferentes resoluciones temporales; por ejemplo, el análisis de contenido estomacal representa el último evento alimentario; mientras que los análisis isotópicos, aportan información del alimento que ha sido asimilado en los

últimos meses (1 ó 2 aproximadamente) previos a su muerte (Polo-Silva, 2013), es decir, detalla una retrospectiva a largo plazo, aún en estómagos vacíos (Tripp-Valdez, 2010); haciéndose dudosa la importancia de la presa que no ha sido asimilada en el contenido estomacal (Roman-Reyes, 2003).

Debido a la diversidad morfológica y estilos de vida de los peces cartilaginosos, existe una amplia variedad de hábitos y estrategias alimenticias, aunque en ocasiones una misma especie puede presentar dos tipos de estrategias, indicando cambios en la dieta en relación a su estado ontogénico o el uso de diferentes hábitats (Amundsen *et al.*, 1996).

Por su parte, los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  permiten rastrear productividad, encontrándose valores altos en áreas productivas como las zonas costeras en comparación a las zonas oceánicas, las cuales son menos productivas (Polo-Silva, 2013). Asimismo, se ha registrado que los organismos que presentan valores de  $\delta^{13}\text{C}$  por debajo de  $-15\text{‰}$ , se alimentan en zonas costeras; mientras que, los organismos que presentan valores por encima de  $-15\text{‰}$ , se alimentan en las zonas oceánicas (Niño-Torres *et al.*, 2006; Escobar-Sánchez *et al.*, 2011; Blanco-Parra *et al.*, 2012). Sobre esa base, al encontrar valores altos de  $\delta^{13}\text{C}$  en los músculos de *R. velezi* (de  $-17.9$  a  $-16.6 \text{‰}$ ), se infiere que esta especie se está alimentando en aguas oceánicas (cerca de donde finaliza la plataforma e inicia el talud continental); lo cual, coincide con lo reportado mediante contenido estomacal, donde se observaron presas cuya distribución se encuentra en la plataforma continental hasta 190 m de profundidad aproximadamente (Fisher *et al.*, 1995).

Asimismo, diferentes estudios mencionan que puede existir diferencia entre los valores isotópicos de los organismos de una misma especie, si estos se están alimentando en diferentes regiones o de diferentes presas (Auriolles-Gamboa *et al.*, 2009). No obstante, se observó que *R. velezi*, mantuvo el mismo espectro trófico durante las temporadas de muestreo, cambiando solo las proporciones de las presas; por lo cual, al observar una diferencia significativa en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$

entre meses ( $H_{(4.66)} = 15.4$ ,  $p = 0.004$ ), se puede mencionar que *R. velezi* presenta movimientos entre áreas de alimentación o quizás un cambio de presa.,

Por el contrario, el  $\delta^{15}\text{N}$ , permite inferir la posición trófica de una especie, debido a que los tejidos tienden a enriquecerse en  $^{15}\text{N}$  en cada nivel trófico (Polo-Silva, 2013). Desde este punto de vista, se infiere que *R. velezi* está haciendo uso de un solo nivel trófico, ya que se observó un valor bajo en la desviación estándar del promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $17.967 \pm 0.173$  DE).

En relación con las posibles diferencias intra-específicas de la dieta, mediante la técnica de contenido estomacal, se observó que machos y adultos, presentan una dieta especialista; mientras que las hembras, juveniles e indeterminados, presentan una dieta generalista. Sin embargo, mediante la técnica de isótopos estables, todas las categorías de *R. velezi*, presentan una estrategia especialista.

De acuerdo con Martínez del Río (2009), esto refleja una conducta oportunista, lo cual, ya ha sido reportado para otras especies de batoideos (Moreno *et al.*, 2009; Simental-Anguiano, 2011). En relación con lo anterior, se ha observado que esta estrategia sucede cuando el depredador consume el recurso más abundante, convirtiéndose en especialista al momento que la especie presa aumenta su abundancia en forma evidente (Moreno *et al.*, 2009; Torres-Rojas *et al.*, 2010). Asimismo, la segregación, ya sea sexual o por estado de madurez, es relativamente común en los elasmobranquios (Valenzuela-Quíñonez, 2009; Blanco-Parra *et al.*, 2012);

Contrario a esto, para la similitud de dieta, mediante ambas técnicas, no se observó diferencias significativas tanto en sexos, como en estados de madurez; lo que indica que comparten un mismo hábitat para la obtención de su fuente de alimento y tanto hembras y machos, como juveniles y adultos, se alimentan de presas de similar valor isotópico (Torres-Rojas, 2013; Polo-Silva, 2013).

La clasificación de los organismos por las posiciones tróficas corresponde a la función de cada uno de ellos y no se basa en la especie como tal, ya que una especie puede ocupar varios niveles tróficos. Así, los niveles tróficos permiten disponer de una descripción de las comunidades (Krebs, 1999).

En el presente estudio, los valores de la posición trófica obtenidos mediante las dos técnicas fueron considerados como diferentes, obteniendo valores mayores mediante contenido estomacal ( $PT = 4.67 \pm 0.52$ ). Lo anterior, puede ser explicado en relación con la posición trófica de cada presa consumida, ya que se ha reportado que dependiendo de la posición trófica de las presas consumidas será la posición trófica del depredador (Simental-Anguiano, 2011).

De igual forma, para el caso de isótopos estables de  $\delta^{15}N$ , se ha reportado que las presas con posición trófica alta tienden a presentar valores altos de  $\delta^{15}N$  (Post, 2002). Adicionalmente, los isótopos estables presentan ciertas ventajas sobre el contenido estomacal, como es el caso del grado de digestión de la presa, siendo esté una de las grandes limitantes, debido a la rápida digestión de algunas presas, causando que estas no sean reportadas en el espectro trófico del depredador; lo que daría lugar a una mala interpretación de la posición trófica del depredador (Torres-Rojas *et al.*, 2013).

La diferencia en la posición trófica mediante contenido estomacal e isótopos estables, hace que *R. velezi* sea catalogada de distinta forma por una técnica y otra; siendo catalogada como depredador terciario de acuerdo con los valores obtenidos mediante contenido estomacal ( $PT = 4.677 \pm 0.519$ ); contrario a esto, los valores de los isótopos estables la catalogan como depredador secundario ( $PT = 3.33 \pm 0.100$ ).

No obstante, se ha observado que los batoideos menores de 100 cm de longitud total, consumen principalmente crustáceos y peces pequeños, por lo que presentan una posición trófica baja ( $PT < 4$ ); en comparación con los batoideos mayores a 100 cm de longitud total, los cuales presentan una posición trófica alta ( $PT$

> 4) al alimentarse principalmente de peces grandes y cefalópodos (Branccini y Pérez 2005; Ebert y Bizzarro, 2007).

Desde este punto de vista, se puede esclarecer el resultado, puesto que el promedio de la longitud total de *R. velezi* no rebaso los 100 cm (LT = 87.3 ±4.719DE), lo cual explicaría la presencia de una posición trófica baja mediante isótopos estables. Adicionalmente, a partir del contenido estomacal, las presas principales fueron el pez *P. multifasciatus* (PT = 3.1) y *S. scituliceps* (PT = 4.2), mientras que para isótopos estables, las presas más importantes fueron, *V. lucetia* (PT = 3.2) y *S. disedwardsi* (PT = 2.52); lo que podría indicar que los valores isotópicos de *V. lucetia* y *S. disedwardsi* están siendo bio-acumulados con mayor frecuencia en comparación con las otras presas (Torres-Rojas, 2013), provocando que se refleje una posición trófica de carnívoro secundario.

Asimismo, para la posición trófica de manera intraespecífica, no se observó diferencias significativas entre hembras y machos; sin embargo, si se observó diferencias significativas entre adultos y juveniles. Dicha variación puede estar atribuida a un cambio en la disponibilidad y consumo de presas, así como en la razón costo beneficio de potenciales presas entre estadio de madurez, intervalo de talla o sexos (Polo-Silva, 2013); ya que se ha observado que a medida que crece un organismo, este cambia su alimentación por presas de posiciones tróficas altas, cambiando así su posición trófica (Christensen y Pauly, 1992; Blanco-Parra *et al.*, 2012).

Adicionalmente, se sabe que la técnica de contenido estomacal y la de isótopos estables aportan información en diferentes escalas de tiempo; dado que se ha reportado que para el musculo dorsal, el recambio isotópico sucede en meses (Buchheister and Latour 2010); asimismo, el valor de los isótopos estables cambian con respecto a la dieta y hábitat de los consumidores a través del tiempo (Newsome *et al.*, 2007). Sin embargo, el análisis de la ecología trófica de *R. velezi*, se realizó con muestras de las mismas temporadas, pero diferentes años (marzo – julio del

2011 y 2012), lo que pudo provocar las diferencias observadas entre ambas técnicas; evitando distinguir diferencias significativas entre sexos y estadio de madurez. Desde este punto de vista, se recomienda ampliar el periodo de estudio, de modo que se pueda registrar el espectro trófico y su posterior reflejo en el músculo.

## 10. CONCLUSIONES

- *Raja velezi*, es un organismo epibentónico que se alimenta de organismo demersales, de la zona oceánica de la costa suroccidental de B.C.S.
- Pese a que la escala de tiempo que representa cada técnicas es diferente, no se obtuvo el mismo resultado mediante ambas técnicas; siendo las presas principales, mediante contenido estomacal, el pez *Pronotogrammus multifasciatus* y *Synodus scituliceps*; y mediante isótopos estables, el pez *Vinciguerria lucetia*.
- Los valores isotópicos de carbono y nitrógeno, presentaron una homogeneidad adecuada
- De manera general, *R. velezi*, se considera un depredador con plasticidad trófica, al poderse alimentar de especies presas de distintas posiciones tróficas.
- *R. velezi*, al alimentarse de diferentes niveles tróficos, puede ser considerada como un consumidor secundario o como un consumidor terciario, dependiendo de las presas y la zona en donde se esté alimentando.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Borrego, S., 1983. Gulf of California. In: Ketchum, B.H. (Ed.), Ecosystem of the world 26: estuaries and enclosed seas. Elsevier, Amsterdam.
- Altabet M.A., C. Pilskaln, R. Thunell, C. Pride, D. Sigman, F. Chavez & R. Francois. 1999. The nitrogen isotope biogeochemistry of sinking particles from the margin of the eastern North Pacific. *Deep-Sea Res. Part I*, 46(4):655–679
- Álvarez-Sánchez, L.G., 1977. Vientos en la Bahía de Todos Santos, Baja California. *Ciencias Marinas*. 4 (1): 881-88.
- Amundsen, P.A., H.M. Gabler, & F.J. Staldvik. 1996. A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data—modification of the Costello method. *Journal of fish biology* 48:607–614.
- Andrade-González, Z.S 2005. Hábitos alimenticios del tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* en el Océano Pacífico oriental. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 120 pp.
- Aurioles-Gamboa D., S.D. Newsome, S. Salazar-Pico & P.L. Koch. 2009 Stable isotope differences between sea lions (*Zalophus*) from the Gulf of California and Galapagos islands. *Journal of Mammalogy*, 90:1410–1420
- Arizmendi-Rodríguez, D.I. 2010. Biología del calamar dedal *Lolliguncula panamensis* Berry, 1911 (Teuthida: Loliginidae) en el Golfo de California. Tesis de doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). 130pp
- Bearhop S., C.E. Adams, S. Waldron; R.A. Fuller & H. Macleod. 2004. Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. *Journal of Animal Ecology* 73:1007-1012
- Bizzarro, J.J., W.D. Smith, R.E. Hueter, J. Tyminski, J.F. Márquez-Farías, J.L. Castillo-Géniz, G.M. Cailliet, C.J. Villavicencio-Garayzar. 2007. El estado actual de los tiburones y rayas sujetos a explotación comercial en el Golfo de California: Una investigación aplicada al mejoramiento de su manejo pesquero y conservación. Traducción por: J. Leonardo Castillo-Géniz. Moss Landing Marine Laboratories Tech. Pub. 2009–02. 261pp.

- Blanco-Parra M.P, F. Galván-Magaña, F. Márquez-Farías & C.A. Niño-Torres. 2012. Feeding ecology and trophic level of the banded guitarfish, *Zapterix exasperata*, inferred from stable isotopes and stomach contents analysis. *Environ Biol Fish.* 95 (1): 65-77.
- Braccini J.M. & J.E. Pérez. 2005. Feeding habits of the sand skate *Psammobatis extenta* (Garman, 1913): sources of variation in dietary composition. *Mar. Freshw. Res.*, 56: 395-403.
- Buchheister A. & R.J. Latour. 2010. Turnover and fractionation of carbon and nitrogen stable isotopes in tissues of migratory coastal predator, summer flounder (*Paralichthys dentatus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 67(3): 445-461
- Cabrera-Chávez-Costa, A. A., F. Galván-Magaña y O. Escobar-Sánchez. 2010. Food habits of the solky shark *Carcharhinus falciformis* (Müller and Henle, 1839) off the western coast of Baja California Sur, Mexico. *J. Appl. Ichthyol.* 26: 499 – 503.
- Chen, G., Wu, Z., Gu, B., Liu, D., Li, X. y Y. Wang. 2010. Isotopic niche overlap of two planktivorous fish in southern China. *Limnology.* 12(2), 151–155.
- Chipps, S.T. & J.E. Garvey. 2006. Assessment of food habits and feeding patterns. The American Fisheries Society. 42pp.
- Christensen V. & D. Pauly. 1992. ECOPATH II - A software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecological Modelling* 61:169–185.
- Clarke, K.R. & R.M Warwick. 2001. Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd Edition. PRIMER-E: Plymouth, UK. 172 pp
- Colwell, R. 2006. Statistical Estimation of species Richness and share species from samples. University of Connecticut, USA. URL.purl.oclc.org/estimates.
- CONAPESCA. 2010. CONAPESCA. Anuario 2009. 155pp
- Criss R. E., 1999. Principles of stable isotope distribution. Oxford university press: New York. 254 pp.

- Cortés, E., Manire, C.A., & R.E. Hueter. 1996. Diet, feeding habits, and diel feeding chronology of the bonnethead shark, *Sphyrna tiburo*, in southwest Florida. *Bulletin of Marine Science*, 58: 353-367.
- Cortés, E. 1997. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences* 54:726–738.
- Curtis, H. 1986. *Biología*. Interamericana. E. U. A. 548 pp.
- Day, J.W.Jr., C.A.S. Hall, W. M. Kem & A. Yañez-Arancibia. 1989. *Estuarine Ecology*. John-Wiley & Sons. E. U. A. 558 pp.
- Doi:10.1007/s10201-010-0332-2.
- Ebert, D. & J. Bizzarro. 2007. Standardized diet compositions and trophic levels of skates (Chondrichthyes: Rajiformes: Rajoidei). *Environmental Biology of Fishes*, 80: 221– 237pp.
- Elorriaga-Verplancken, F.R. 2009. Variación de  $\delta^{15}\text{N}$  Y  $\delta^{13}\text{C}$  e colágeno dental de lobos marinos del género *Zalophus*: patrones ontogénicos y geográficos. Tesis de Doctorado. CICIMAR. 163 pp.
- Escobar-Sánchez, O., F. Galván-Magaña y L. A. Abitia-Cárdenas. 2011. Trophic Level and Isotopic Composition of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of Pacific Angel Shark, *Squatina californica* (Ayres, 1859), in the Southern Gulf of California, Mexico. *J. Fish. Aquat. Sci.*, 6 (2): 141-150.
- Espinoza, M., T.M. Clarke, F. Villalobos-Rojas & I.S. Wehrtmann. 2012. Ontogenetic dietary shifts and feeding ecology of the rasptail skate *Raja velezi* and the brown smoothhound shark *Mustelus henlei* along the Pacific coast of Costa Rica, Central America. *Journal of Fish Biology*. 81, 1578 – 1595.
- Fisher, W., F. Krupp, W. Scheneider, C. Sommer, K.E. Carpenter & V.H. Niem. 1995. *Pacifico Centro-Oriental: Guia FAO para la identificación de especies para los fines de pesca*. FAO., Roma. (Vol-I-II-II) 1-1813 pp.
- Flores-Ortega, J. R., E. Godínez-Domínguez, G. González-Sansón, J. A. Rojo-Vázquez, A. Corgos, and M. Y. Morales-Jáuregui. 2011. Feeding habits of three round stingrays (Rajiformes: Urotrygonidae) in the central Mexican Pacific

- Hábitos alimentarios de tres especies de raya (Rajiformes: Urotrygonidae) en el Pacífico central mexicano. *Ciencias Marinas* 37(3): 279-292.
- Galván-Magaña, F. 1999. Relaciones tróficas interespecíficas de la comunidad de depredadores epipelágicos del Océano Pacífico Oriental. Tesis Doctoral. CICESE. 212 pp.
- Gerking, S.D. 1994. Feeding ecology of fish. Academic press. E.U.A. 416 pp.
- Gómez, J & Vélez. 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas*. 8 (2): 167–176.
- Harvey, C.J. & J.F. Kitchell. 2000. A stable isotope evaluation of the structure and spatial heterogeneity of a lake superior food web. *Canadian journal of fisheries and aquatic science*. 57:1395-1403.
- Hernández-Aguilar, S.B. 2008. Espectro trófico del tiburón azul *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) en la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 79 pp.
- Hinojosa-Álvarez, S.A. 2009. Ecología trófica de la Manta gigante (*Manta birostris*, Dondorff 1798) mediante el análisis de isótopos estables de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en las áreas naturales protegidas de Yum Balam e Isla Contoy, Quintana Roo. Tesis de maestría. UNAM. Ciencias del Mar y Limnología. 68 pp.
- Hutchinson, G.E. 1957. Concluding remarks. Cold spring harbor symposia on quantitative biology 22:415–427.
- Hobson, K.A., J.L. Sease, R.L. Merrick & J.F. Piatt. 1997. Investigating trophic relationships of pinnipeds in Alaska and Washington using stable isotope ratios of nitrogen and carbon. *Marine Mammal Science*. 13:114-132.
- Hyslop, E.J. 1980. Stomach contents analysis: a review of methods and their application. *Journal of fish biology* 17:411–429.
- Jaeger, A., P. Blanchard, P. Richard & Y. Cherel. 2009. Using carbon and nitrogen isotopic values of body feathers to infer inter and intra-individual variations of seabird feeding ecology during moult. *Mar. Biol.*, 156(6), 1233–1240. doi:10.1007/s00227-009-1165-6.

- Kim, S.L., C.M. Del Rio, D. Casper & P.L. Koch. 2012. Isotopic incorporation rates for shark tissues from a long-term captive feeding study. *J. Exp. Biol.*, 215(Pt 14), 2495–500. doi:10.1242/jeb.070656
- Kim S.L., Koch P.L. 2011. Methods to collect, preserve, and prepare elasmobranch tissues for stable isotope analysis. *Environ Biol Fishes* 1:53-63
- Krebs C.J. 1999. Ecological Methodology. Addison Wesley, California
- Levin, R. 1968. Evolution in a changing environments. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 120 pp.
- Main, L.K. 1985. The influence of prey identify and size on selection of prey for two marine fishes. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 88: 145-152.
- Martínez del Rio C., N. Wolf, S.A. Carleton & L.Z. Gannes. 2009. Isotopic ecology ten years after a call for more laboratory experiments. *Biol. Rev.*, 84:91–111.
- McEachran, J.D. & Di-Sciara, G.N. 1995. Peces Batoideos. En: Fisher W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter, V.H. Niem. (Ed) *Guía FAO para Identificación de Especies para los Fines de la Pesca*. Volumen II: Vertebrados (Parte 1). FAO, Rome, Italy, pp. 745–792.
- Moore, J.W. & B.X. Semmens. 2008. Incorporating uncertainty and prior information 607 into stable isotope mixing models. *Ecol. Lett.* 11: 470–480.
- Moreno, F., K. Acevedo, M. Grijalba-Bendeck, C. Polo-Silva & P.A. Acero. 2009. Espectro trófico de la raya eléctrica *Narcine bancroftii* (Griffith & Smith 1834) (Elasmobranchii, Narcinidae) en playa Salguero, Santa Marta, Caribe Colombiano. PANAMJAS. 10 pp.
- Navarro-González, J. 2011. Ecomorfología del aparato mandibular de peces batoideos. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). 149 pp
- Navarro-González, J.A., J. Bohórquez-Herrera, A.F. Navia & V.H. Cruz-Escalona. 2012. Diet composition of batoids on the continental shelf off Nayarit and Sinaloa, Mexico. *Ciencias Marinas*. 38 (2):347-362
- Navia, A.F., P.A. Mejía-Falla & A. Giraldo. 2007. Feeding ecology of elasmobranch fishes in coastal waters of the Colombian Eastern Tropical Pacific. *BMC Ecology* 7:8. Doi: 10.1186/1472-6785-7-8

- Newsome SD, P.L. Koch, M.A. Etnier, D. Aurioles-Gamboa. 2006. Using carbon and nitrogen isotope values to investigate maternal strategies in northeast Pacific otariids. *Mar Mamm Sci* 22:556-572
- Niño-Torres CA, J.P. Gallo-Reynoso, F. Galván-Magaña, E. Escobar-Briones & S.A. Macko. 2006. Isotopic analysis of delta C-13, delta N-15, and delta S-34 “a feeding tale” in teeth of the longbeaked common dolphin, *Delphinus capensis*. *Mar Mamm Sci* 22(4):831–846
- Odum, E. 1985. Fundamentos de ecología. Interamericana. E. U. A. 422 pp.
- Park, R. & S. Epstein. 1961. Metabolic fractionation of  $^{13}\text{C}$  and  $^{12}\text{C}$  in plants. *Plant Physiology*. 36: 133-138 pp.
- Pielou, E.C. 1975. Ecological diversity. Wiley, New York. 165 pp
- Pauly, D., R. Froese, P. Saa, M.L. Palomares, V. Christensen & J. Rius. 2000. TrophLab in MS Access. <http://www.fishbase.org/download/TrophLab2K.zip>
- Pérez-España, H. 1994. *Hábitos alimentarios del Ángel Real Holocanthus passer Valenciennes, 1846 y del Ángel de Cortes Pomacanthus zonipectus Gil, 1863 (OSTEICHTHYES: POMACANTHIDAE) en la costa Suroccidental del Golfo de California*. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 79 pp.
- Pinkas, L., M.S. Oliphant & L.K. Iverson. 1971. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in California waters. *Fish bulletin*. 152: 105 pp.
- Polo-Silva, C. 2013. *Ontogenia alimentaria del tiburón azul Prionace glauca (Linnaeus, 1758) a partir de análisis isotópicos en tejidos diferentes*. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de México. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. 99 pp.
- Post, D.M. 2002 Using stable isotopes to estimate trophic position models, methods, and assumptions. *Ecology* vol. 83 (3): 703-718 pp.
- Post D. M., Layman C. A., Takimoto G., Quattrochi J., Montaña C. G. 2007. Getting to the fat of the matter: models, methods and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analyses. *Ecology* 152, 179-189.
- Puentes, V., N. Madrid & L. Zapata. 2007. Catch composition of the deep sea shrimp fishery (*solenocera agassizi* faxon, 1893; *Farfantepenaeus californiensis*

- holmes, 1900 and *Farfantepenaeus brevirostris* kingsley, 1878) in the colombian pacific ocean. *Gayana* 71(1): 84-95.
- Ramírez-Amaro, S.R., D. Cartamil, F. Galván-Magaña, G. González-Barba, J.B. Graham, M. Carrera-Fernández, O. Escobar-Sánchez, O. Sosa-Nishizaki & A. Rochin-Alamillo. 2013. The artisanal elasmobranch fishery of the Pacific coast of Baja California Sur, Mexico, management implications. *Scientia Marina* 77 (3): 473-487
- Rau, G.H., J.L. Tetssie, F., Rassoulzadegan & S.W. Fowler. 1990.  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  variations among size fractionated marine particles: implications for their origin and trophic relationship. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 59: 33-38.
- Robertson D.R. & G.R. Allen. 2002. Peces Costeros del Pacifico Oriental Tropical: un Sistema de Información. *Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales Balboa*. República de Panamá.
- Roman-Reyes, J.C. 2003. *Información ecológica a partir del análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno en las cadenas tróficas*. Ensayo Predoctoral. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. 58pp.
- Ruiz-Campos, G.; J.L. Castro-Aguirre, E.F. Balart, L. Campos-Dávila & R. Vélez-Marín. 2010. New specimens and records of chondrichthyan fishes (Vertebrata: Chondrichthyes) off the Mexican Pacific coast. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 303-371.
- Sánchez-Cota, J.B. 2013. *Catálogo de esqueletos de peces óseos marinos de importancia comercial en Baja California Sur, México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS). 301 pp
- Santana Morales, O., J.L. Castillo-Géniz, O. Sosa-Nishizaki & C. Rodríguez-Medrano. 2004. *Catálogo de tiburones, rayas y quimeras (Chondrichthyes) que habitan en las aguas del norte del Golfo de California*. CICESE. 119pp.
- Scenna, L.B., S.B. García-de la Rosa & J.M., Díaz-de Astarloa. 2006. Trophic ecology of the Patagonian skate, *Bathyraja macloviana*, on the Argentine continental shelf. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 867-874.

- Shannon, C.E. & W. Weaver (1949): The mathematical theory of communications. Illinois Univ. Press, Urbana, 117 pp.
- Simental-Anguiano M.R. 2011. *Dieta de Rhinoptera steindachneri (Evermann y Jenkins, 1892) y Dasyatis brevis (Garman, 1879) en el Alto Golfo de California*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS). 125pp.
- Soto-López, K. En preparación. *Biología reproductiva de la raya Raja velezi (Chirichigno, 1973) en el suroeste de Baja California Sur*. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM.
- Stillwell, C.E. & N.E. Kohler. 1982. Food, feeding habits, and estimates of daily ration of the shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) in the northern Atlantic. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science. 39: 407-414 pp.
- Torres-Rojas, Y. E. 2009. *Hábitos alimenticios y la razón de isótopos estables de carbono y nitrógeno del tiburón Sphyrna lewini (Griffith y Smith 1834) capturado en el área de Mazatlán, Sinaloa, México*. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 107 pp
- Torres-Rojas, Y. E. 2010. Stomach analysis of juvenile, scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini* captured off coast of Mazatlan, Mexico. *Aquat. Ecolo.* 44:301-308
- Torres-Rojas, Y. E., A. Hernández-Herrera, S. Ortega-García & M. Domeier. 2013. Stables isotope differences between blue marlin (*Makaira nigricans*) and striped marlin (*Kajikia audax*) in the southern Gulf of California, Mexico. *Marine Science.* 89(2):421-436
- Tripp-Valdez, A. 2010. *Comparación de dos enfoques metodológicos para el análisis de la estructura trófica de la ictiofauna de fondos blandos de la costa de Nayarit, México*. Tesis de doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). 134 pp
- Valadez-González, C. 2007. *Distribución, abundancia y alimentación de las rayas bentónicas de la costa de Jalisco y Colima, México*. Tesis de doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 139 pp.

- Valenzuela-Quiñonez, F. 2009. *Hábitos alimenticios del pez guitarra Rhinobatos productus en el alto Golfo de California*. Tesis de maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. 82 pp.
- Wootton, R.J. 1990. *Ecology of teleost fishes*. Chapman y Hall. E.U.A. 404 pp.