



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
DEL NOROESTE, S.C.

---

---

Programa de Estudios de Posgrado

CONTENIDOS ESTOMACALES, ISÓTOPOS  
ESTABLES Y ELEMENTOS TRAZA EN PECES DE  
SANTA ROSALÍA, GOLFO DE CALIFORNIA

TESIS

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales  
( Orientación Biología Marina )

Presenta

**Hugo Armando Valencia Valdez**

La Paz, Baja California Sur, Mayo de 2017

La Paz, Baja California Sur, a 1 de abril de 2017.

**ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS**

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 10:00 horas del día 1 del Mes de Abril del 2017, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

**"CONTENIDOS ESTOMACALES, ISÓTOPOS ESTABLES Y ELEMENTOS TRAZA EN PECES DE SANTA ROSALÍA, GOLFO DE CALIFORNIA"**

Presentada por el alumno:

**Hugo Armando Valencia Valdez**

Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN BIOLOGÍA MARINA.

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

LA COMISIÓN REVISORA



---

Dra. Elisa Serviere Zaragoza  
Co-Directora de Tesis



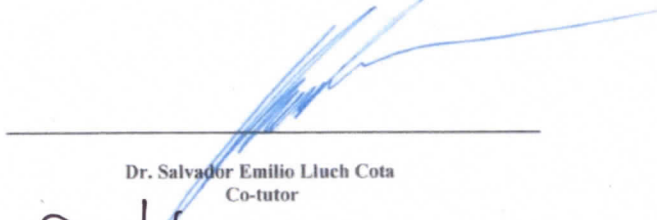
---

Dra. Lía Celina Méndez Rodríguez  
Co-Directora de Tesis




---

Dr. Eduardo Francisco Balart Páez  
Co-Tutor



---

Dr. Salvador Emilio Lluch Cota  
Co-tutor



---

Dra. Norma Yolanda Hernández Saavedra,  
Directora de Estudios de Posgrado y  
Formación de Recursos Humanos

## **COMITÉ TUTORIAL**

Dra. Elisa Serviere Zaragoza

Co-Directora

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dra. Lía Celina Méndez Rodríguez

Co-Directora

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. Eduardo Francisco Balart Páez

Co-Tutor

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. Salvador Emilio Lluch Cota

Co-Tutor

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

## **COMITÉ REVISOR DE TESIS**

Dra. Elisa Serviere Zaragoza

Dra. Lía Celina Méndez Rodríguez

Dr. Eduardo Francisco Balart Páez

Dr. Salvador Emilio Lluch Cota

## **JURADO DE EXÁMEN**

Dra. Elisa Serviere Zaragoza

Dra. Lía Celina Méndez Rodríguez

Dr. Eduardo Francisco Balart Páez

## **SUPLENTE**

Dr. Salvador Emilio Lluch Cota

## Resumen

En el poblado de Santa Rosalía, Baja California Sur, ubicado en la costa occidental de la parte central del Golfo de California, se han reportado altas concentraciones de elementos traza en los sedimentos costeros. Estas altas concentraciones están asociadas directamente con el aporte natural derivado de la composición geológica de la zona. Sin embargo, existen áreas fuertemente influenciadas por la actividad minera que se ha estado realizando en la zona. Estas actividades han resultado en un enriquecimiento de elementos traza en los sedimentos marinos. Estudios sobre concentración de elementos traza en tramas tróficas marinas indican que las especies acuáticas pueden bioacumular estos elementos en concentraciones proporcionalmente mayores a las del ambiente en el que se desarrollan y, en ocasiones, pueden ser participe en procesos de biomagnificación. En el presente trabajo se analizó la concentración de elementos traza, Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Fierro (Fe), en peces de distinto nivel trófico que habitan arrecifes rocosos. Las fuentes de alimento de los peces fueron analizadas a partir del contenido estomacal y de isótopos estables  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ . Los peces pueden ser indicadores del flujo de éstos elementos traza, ya que transfieren energía entre comunidades pelágicas y bentónicas de acuerdo a su nivel trófico. Las especies de estudio fueron *Kyphosus azureus*, *Stegastes rectifraenum* y *Balistes polylepis*, de hábitos herbívoro, omnívoro y carnívoro, respectivamente. Las capturas de peces se realizaron en tres sitios aledaños a la costa de Santa Rosalía, uno cercano a la mina (Las Cuevitas), y los otros dos sitios sin influencia minera (Punta Gorda y Frailes); en todos los sitios el muestreo se realizó mediante buceo libre utilizando arpones de tipo hawaiano en los meses de mayo y septiembre del 2015. Los peces capturados fueron disectados para recuperar el contenido estomacal y obtener muestras de músculo para el análisis de la concentración de isótopos estables  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  y elementos traza. La especie *K. azureus* mostró una dieta herbívora en todos los sitios y estaciones, principalmente constituida por macroalgas rojas; se observó que *S. rectifraenum* se alimenta de macroalgas rojas, detritus y pequeños invertebrados, mientras que *B. polylepis* presentó una dieta constituida por moluscos, en su mayoría. Los resultados del análisis de isótopos estables indican que el mayor enriquecimiento de  $\delta^{13}\text{C}$  lo presentó *K. azureus*, con un promedio de  $\delta^{13}\text{C}=12.68 \pm 0.82\%$ , mientras que los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  colocan a esta especie en el nivel trófico más bajo de las tres especies, con valores de  $\delta^{15}\text{N}=16.90 \pm 0.36\%$ . *S. rectifraenum* presentó un promedio de  $\delta^{13}\text{C}= -15.13\pm 0.25\%$  colocándola en la segunda posición en cuanto al enriquecimiento de C. Sin embargo, los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  fueron los valores más altos entre las 3 especies, con un promedio de  $\delta^{15}\text{N}= 18.91 \pm 0.29\%$ . *B. polylepis* presentó el menor enriquecimiento de  $\delta^{13}\text{C}$  entre las diferentes especies con un promedio de  $\delta^{13}\text{C}= -16.94\pm 0.59\%$  y el  $\delta^{15}\text{N}$  mostró en promedio  $\delta^{15}\text{N}= 18.38\pm 0.39\%$  colocándola ligeramente por debajo de *S. rectifraenum*. Las concentraciones de Cd, Pb, Cu, Zn y Fe en los peces no presentaron un patrón relacionado con el nivel trófico, ya que cada elemento se comportó de manera distinta entre las especies. Sin embargo, las concentraciones de Pb, Cu y Fe presentaron una tendencia decreciente de norte a sur entre los sitios: Punta Gorda < Cuevitas < Frailes. Estos resultados indican que los elementos se



comportan de manera distinta tanto entre especies de diferentes niveles tróficos como entre los sitios de estudio.

**Palabras claves:** Dieta, Elementos traza, Isótopos, Peces, Santa Rosalía, Baja California Sur



Vo.Bo. Dra. Elisa Serviere Zaragoza  
Co-Directora de tesis



Vo.Bo. Dra. Lía C. Méndez Rodríguez  
Co-Directora de tesis

## Summary

In Santa Rosalía, Baja California Sur, on the western coast of the central Gulf of California, high concentrations of trace elements have been reported in coastal sediments. These high concentrations are directly associated with the natural contribution derived from the geological composition of the zone. However, there are areas strongly influenced by the mining activity that has been taking place in the area. These activities have resulted in an enrichment of trace elements in marine sediments. Studies on the concentration of trace elements in marine trophic plots indicate that aquatic species can bioaccumulate these elements in concentrations proportionally greater than those in the environment in which they are developed and may sometimes be involved in biomagnification processes. In the present work the concentration of trace elements, Cadmium (Cd), Lead (Pb), Copper (Cu), Zinc (Zn) and Fierro (Fe) are analyzed in fish of different trophic level that inhabit rocky reefs. Fish food sources were analyzed from the stomach contents and stable  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  isotopes. Fish can be indicators of the flow of these trace elements, since they transfer energy between pelagic and benthic communities according to their trophic level. The species of study were *Kyphosus azureus*, *Stegastes rectifraenum* and *Balistes polylepis*, of herbivorous, omnivorous and carnivorous habits, respectively. The catches of fish were carried out in three sites near the coast of Santa Rosalía, one near the mine (Las Cuevitas), and the other two sites without mining influence (Punta Gorda and Frailes), and at all sites by free diving Using Hawaiian type harpoons in May and September of 2015. The captured fish were dissected to recover the stomach contents and to obtain muscle samples for the analysis of the stable isotope concentration  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  and trace elements. The species *K. azureus* showed a herbivorous diet in all the sites and stations constituted by red macroalgae, mainly; *S. rectifraenum* feeds on red macroalgae, detritus and small invertebrates, while *B. polylepis* presented a diet consisting of mollusks, mostly. The results of the stable isotope analysis indicate that the highest  $\delta^{13}\text{C}$  enrichment was presented by *K. azureus*, with a mean of  $\delta^{13}\text{C} = 12.68 \pm 0.82 \text{ ‰}$ , whereas the values of  $\delta^{15}\text{N}$  place this species at the lowest trophic level of the three species, with values of  $\delta^{15}\text{N} = 16.90 \pm 0.36 \text{ ‰}$ . *S. rectifraenum* presented an average of  $\delta^{13}\text{C} = -15.13 \pm 0.25 \text{ ‰}$  placing it in the second position as for the enrichment of C, However, the values of  $\delta^{15}\text{N}$  were the highest values among the 3 species, with a mean of  $\delta^{15}\text{N} = 18.91 \pm 0.29 \text{ ‰}$ . *B. polylepis* presented the lowest enrichment of  $\delta^{13}\text{C}$  between the different species with an average of  $\delta^{13}\text{C} = -16.94 \pm 0.59 \text{ ‰}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  showed on average  $\delta^{15}\text{N} = 18.38 \pm 0.39 \text{ ‰}$  placing it slightly below *S. rectifraenum*. The concentrations of Cd, Pb, Cu, Zn and Fe in the fish do not present a pattern that is related to the trophic level, since each element behaves differently between species. However, the concentrations of Pb, Cu and Fe present a decreasing trend from north to south between the sites: Punta Gorda < Cuevitas < Frailes. These results indicate that the elements behave differently between species of different trophic levels, as well as among the study sites.

**Keywords:** Diet, Fishes, Santa Rosalía, Baja California Sur, Stable isotopes, Trace elements



Vo.Bo. Dra. Elisa Serviere Zaragoza  
Co-Directora de tesis



Vo.Bo. Dra. Lía C. Méndez Rodríguez  
Co-Directora de tesis

**Dedicatoria**

*Para mi familia. Les dedico este trabajo a mis hermanas Cecilia y Rocio, mi hermano Alexis y a mis padres Armando Valencia y Elvira Valdez. Son las personas que mas quiero en este mundo.*

## **Agradecimientos**

A mi comité tutorial por su apoyo durante esta etapa.

A la Dra. Elisa Serviere, por aceptarme en su laboratorio y dirigir mi tesis, por toda su ayuda, por todo el tiempo, paciencia y los recursos invertidos en mí para la realización de este proyecto.

A la Dra. Lía Mendez, por todo el tiempo y la paciencia que me ha tenido, por haberme ayudado tanto y siempre haber estado ahí para resolver mis dudas e inquietudes.

Al Dr. Eduardo F. Balart, por su constante apoyo y enseñanza.

Al Dr. Salvador Lluch por haberme aceptado inicialmente a trabajar con su grupo de trabajo y por todo el apoyo que me recibí durante esta etapa.

Al CIBNOR por aceptarme en su Programa de Posgrado y al CONACYT por la beca otorgada (No. 631460) de la cual me beneficié estos años.

Agradezco al Proyecto CONACYT CB-2012-01-179327 “Dinámica de Cadmio y Cobre en tramas tróficas asociadas a praderas de *Sargassum* spp.: transferencia y acumulación” por haberme acogido y financiado mi proyecto de investigación.

Al Laboratorio de Macroalgas y su personal, la M. en C. Alejandra Mazariegos y la Dra. Karla León por toda su ayuda en el trabajo de laboratorio.

A la Dra. Noemí Bocanegra encargada del Laboratorio de Necton y Ecología de Arrecifes, por toda su ayuda en mi trabajo de tesis.

Al Laboratorio de Espectroscopía de Absorción Atómica y su personal el M. en C. Baudilio Acosta y la IBQ Griselda Peña, por toda su ayuda en mi trabajo de laboratorio.

Al M. en C. Horacio Bervera encargado del Laboratorio de Recursos Bentónicos y Modelación Bioeconómica, por toda su ayuda en la colecta de mis muestras.

A Jorge Calvillo, Enrique Calvillo, Andrés Gonzalez y al Dr. Omar López Fuerte por su apoyo en la colecta de las muestras.

A mis compañeras de laboratorio Amayrani, Diana, Jennifer y Andrea.

A los pescadores de Santa Rosalía por su apoyo en la colecta de las muestras.

Al personal de posgrado, Lupita Sánchez, Osvelia Ibarra, Tania Nuñez, Leticia González, Claudia Olachea, Horacio Sandoval.

A mis compañeros de maestría por todo su apoyo. A mis maestros del CIBNOR por sus enseñanzas.

## Contenido

<b>Resumen</b> .....	i
<b>Summary</b> .....	iii
<b>Dedicatoria</b> .....	v
<b>Agradecimientos</b> .....	vi
<b>Lista de figuras</b> .....	ix
<b>Lista de tablas</b> .....	x
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	3
2.1 Contenidos estomacales en peces.....	3
2.2 Isótopos estables .....	6
2.3 Elementos traza .....	7
2.4 Elementos traza en el medio marino .....	8
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	10
<b>4. HIPÓTESIS</b> .....	11
<b>5. OBJETIVOS</b> .....	11
5.1 Objetivo general .....	11
5.2 Objetivos específicos.....	11
<b>6. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	12
6.1 Área de estudio.....	12
6.2 Captura de peces .....	13
6.3 Contenido estomacal .....	14
6.3.1 Determinación del nivel trófico .....	16
6.4 Isótopos estables .....	17
6.5 Elementos traza .....	18
6.6 Análisis estadístico.....	18
<b>7. RESULTADOS</b> .....	19
7.1 Contenidos estomacales .....	20
7.1.1 <i>K. azureus</i> .....	20
7.1.2 <i>S. rectifraenum</i> .....	24
7.1.3 <i>B. polylepis</i> .....	28
7.1.4 Nivel Trófico .....	31
7.2 Isotopos estables .....	31
7.2.1 <i>K. azureus</i> .....	32

7.2.2	<i>S. rectifraenum</i> .....	33
7.2.3	<i>B. polylepis</i> .....	34
7.3	Elementos traza .....	36
7.3.1	<i>K. azureus</i> .....	36
7.3.2	<i>S. rectifraenum</i> .....	37
7.3.3	<i>B. polylepis</i> .....	38
7.3.4	Concentraciones de elementos traza en especies en relación al sitio .....	40
<b>8.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>42</b>
8.1	Dieta de los peces .....	42
8.2	Isotopos estables .....	44
8.3	Concentración de elementos traza .....	45
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>48</b>
<b>10.</b>	<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>49</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Sitios de estudio en el área de Santa Rosalía, Baja California Sur. Punta Gorda (PGO), Las Cuevitas (CUE) y Los Frailes (FRA).....	13
<b>Figura 2.</b> Curva de acumulación del número de presas encontradas en la dieta de <i>K. azureus</i> .....	21
<b>Figura 3.</b> Principales presas en la dieta de <i>K. azureus</i> . Porcentaje numérico específico de la presa (%NEP), porcentaje de peso específico de la presa (%PEP) y la Frecuencia de Ocurrencia (%FO).....	23
<b>Figura 4.</b> Porcentaje del índice de importancia relativa específica de la presa en la dieta de <i>K. azureus</i> .....	24
<b>Figura 5.</b> Curva de acumulación del número de presas encontradas en la dieta de <i>S. rectifraenum</i> .....	24
<b>Figura 6.</b> Principales presas en la dieta de <i>S. rectifraenum</i> . Porcentaje numérico específico de la presa (%NEP), porcentaje de peso específico de la presa (%PEP) y la Frecuencia de Ocurrencia (%FO).....	27
<b>Figura 7.</b> Porcentaje del índice de importancia relativa específica de la presa en la dieta de <i>S. rectifraenum</i> . ....	28
<b>Figura 8.</b> Curva de acumulación del número de presas encontradas en la dieta de <i>B. polylepis</i> .....	28
<b>Figura 9.</b> Principales presas en la dieta de <i>B. polylepis</i> . Porcentaje numérico específico de la presa (%NEP), porcentaje de peso específico de la presa (%PEP) y la Frecuencia de Ocurrencia (%FO).....	30
<b>Figura 10.</b> Porcentaje del Índice de Importancia Relativa Específica de la Presa en la dieta de <i>B. polylepis</i> . ....	31
<b>Figura 11.</b> Valores isotópicos de peces. Cuadros, <i>K. azureus</i> ; triángulos, <i>S. rectifraenum</i> ; círculos, <i>B. polylepis</i> ; negras, Punta Gorda; vacías, Las Cuevitas; color gris, Los Frailes.....	35



## Lista de tablas

<b>Tabla I.</b> Componentes de la dieta y nivel trófico de algunas especies de la familia Kyphosidae, y de <i>S. rectifraenum</i> , <i>B. polylepis</i> y <i>B. vetula</i> .....	5
<b>Tabla II.</b> Concentraciones promedio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ m peso seco) de Cd y Pb en peces herbívoros, omnívoros y carnívoros del Golfo de California. ....	10
<b>Tabla III.</b> Longitud y peso promedio ( $\pm$ error estándar) de tres especies de peces capturados en Punta Gorda (PGO), Las Cuevitas (CUE) y Los Frailes (FRA), Santa Rosalía, BCS en época de secas (SE) y lluvias (LI).....	20
<b>Tabla IV.</b> Composición de la dieta de <i>K. azureus</i> por porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO), porcentaje numérico específico de la presa (%NEP), porcentaje en peso específico de la presa (%PEP) e índice de importancia relativa específica de la presa (%IIREP).....	22
<b>Tabla V.</b> Composición de la dieta de <i>S. rectifraenum</i> por porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO), porcentaje numérico específico de la presa (%NEP), porcentaje en peso específico de la presa (%PEP) e índice de importancia relativa específica de la presa (%IIREP).....	26
<b>Tabla VI.</b> Composición de la dieta de <i>B. polylepis</i> por porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO), por porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO), porcentaje numérico específico de la presa (%NEP), porcentaje en peso específico de la presa (PEP) e índice de importancia relativa específico de la presa (%IIREP). ....	29
<b>Tabla VII.</b> Valores (promedio $\pm$ ES) de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{13}\text{N}$ en tres especies de peces en Santa Rosalía, Baja California Sur, México.....	31
<b>Tabla VIII.</b> Concentración (promedio $\pm$ ES) de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) y $\delta^{15}\text{N}$ (‰) en músculo de <i>K. azureus</i> en tres sitios en Santa Rosalía, de Baja California Sur, México.....	33
<b>Tabla IX.</b> Concentración (promedio $\pm$ ES) de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) y $\delta^{15}\text{N}$ (‰) en músculo de <i>S. rectifraenum</i> en tres sitios en Santa Rosalía, de Baja California Sur, México.. ....	34
<b>Tabla X.</b> Concentración (promedio $\pm$ ES) de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) y $\delta^{15}\text{N}$ (‰) en músculo de <i>B. polylepis</i> en tres sitios en Santa Rosalía, de Baja California Sur, México. Los peces fueron capturados en secas (Mayo) y lluvias (Septiembre) de 2015. ....	35
<b>Tabla XI.</b> Concentración (promedio $\pm$ ES) de cadmio, plomo, cobre, zinc, y fierro ( $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, media $\pm$ error estándar) en músculo de <i>K. azureus</i> en tres sitios en Santa Rosalía, de Baja California Sur, México. ....	37
<b>Tabla XII.</b> Concentración (promedio $\pm$ ES) de cadmio, plomo, cobre, zinc, y fierro ( $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, media $\pm$ error estándar) en músculo de <i>S. rectifraenum</i> en tres sitios en Santa Rosalía, de Baja California Sur, México. ....	38
<b>Tabla XIII.</b> Concentración (promedio $\pm$ ES) de cadmio, plomo, cobre, zinc, y fierro ( $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, media $\pm$ error estándar) en músculo de <i>B. polylepis</i> en tres sitios en Santa Rosalía, de Baja California Sur, México. ....	39
<b>Tabla XIV.</b> Concentración (promedio $\pm$ ES) de cadmio, plomo, cobre, zinc, y fierro ( $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, media $\pm$ error estándar) en músculo de peces en tres sitios en Santa Rosalía, de Baja California Sur, México.....	41

## 1. INTRODUCCIÓN

El Golfo de California es considerado uno de los ecosistemas marinos de mayor productividad y diversidad biológica (Brusca y Thomson, 1975), debido a la gran heterogeneidad que presenta en sus características abióticas y bióticas (Thomson *et al.*, 2000). La comunidad de peces en el Golfo de California está representada por cerca de 1000 especies, de las cuales 271 habitan principalmente en arrecifes rocosos (Thomson *et al.*, 2000; Thomson y Gilligan, 2002). Los arrecifes rocosos son sistemas muy desarrollados que se distribuyen a lo largo de la costa occidental del golfo y en sus más de 100 islas e islotes (Brusca y Thomson, 1975). En estos ambientes, los peces pasan la mayor parte de su ciclo biológico debido a que encuentran, alimento, protección y un sustrato para la reproducción (Villareal-Cavazos, 1988; Thomson *et al.*, 2000). Entre los factores que influyen en la distribución de peces en arrecifes rocosos destacan la disponibilidad de recursos (espacio, refugio y alimento), la topografía del sustrato, el grado de exposición de un lugar con respecto a corrientes y oleaje, transparencia del agua, y algunos patrones de comportamiento propios de las especies (Thomson *et al.*, 2000).

Los peces son uno de los grupos representativos en los ambientes arrecifales y tienen importancia desde el punto de vista tanto ecológico como económico. Su importancia económica es fundamental, al considerarse que soportan las dos fuentes principales de ingresos económicos en Baja California Sur que son la pesca y el turismo, este último asociado a buceo recreativo y pesca deportiva (Thomson *et al.*, 2000). Su importancia ecológica reside en ser de los principales responsables en la transferencia de nutrientes, energía y materia en las comunidades pelágicas y bentónicas, dado que representan diversas categorías tróficas como detritívoros, zooplanctívoros, herbívoros, omnívoros y carnívoros (Brusca y Thomson, 1975; Villareal-Cavazos, 1988; Thomson *et al.*, 2000). En ese sentido, se suma a su importancia su papel como indicadores del flujo de nutrientes en los ambientes en que habitan, como lo son ciertos elementos traza de interés como cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu), zinc (Zn) y hierro (Fe), lo cual contribuye a entender la acumulación y la potencial transferencia de dichos elementos en la cadena trófica.

En el poblado de Santa Rosalía, ubicado en la costa oriental de la parte central de la península de Baja California Sur, se han reportado altas concentraciones de elementos traza en los sedimentos costeros superficiales (Shumilin *et al.*, 2000). Estas concentraciones están relacionadas directamente con el aporte natural asociado con la composición geológica de la zona. También hay zonas con influencia de la mina El Boleo, la cual ha operado de manera intermitente, desde la segunda mitad del siglo XIX. Estas actividades han contribuido al enriquecimiento de elementos traza, particularmente de Co, Cu, Mn y Zn, entre otros (Shumilin *et al.*, 2000). Las especies acuáticas pueden acumular estos elementos en concentraciones proporcionalmente mayores a las del ambiente donde se desarrollan (Connell, 1997). La acumulación de elementos traza es un proceso común, sin embargo, dependiendo de la concentración en el organismo pueden causar efectos metabólicos adversos, principalmente de elementos considerados como no esenciales para el humano y los peces, como el Cd y Pb (Wang, 2002). Por otro lado, algunos elementos esenciales como Cu, Zn y Fe, pueden llegar a ser potencialmente nocivos para los seres vivos cuando la tasa de incorporación del organismo excede la tasa de eliminación del cuerpo (Coale, 1991). De acuerdo a lo anterior, los elementos traza, tanto esenciales como no esenciales, pueden llegar a ser nocivos para los organismos dependiendo el nivel de exposición al que se encuentren (Coale, 1991; Wang, 2002).

Los estudios sobre la acumulación y la transferencia de elementos traza en ecosistemas marinos, sugieren que las macroalgas son responsables de transferir Cd, Pb, Cu, Zn, y Fe, entre otros elementos, a sus consumidores, entre ellos a peces (Jara-Marini *et al.*, 2009; Hernández-Almaraz *et al.*, 2014). Este proceso se debe a la capacidad que tienen las macroalgas para concentrar elementos tanto esenciales como no esenciales y por su participación como productores primarios en la cadena trófica (Jara-Marini *et al.*, 2009). Sin embargo, aún se desconoce la capacidad de las macroalgas u otras especies para transferir elementos traza, ya que los procesos de acumulación y/o transferencia parecen variar tanto en cada elemento como entre las especies (Barwick y Maher, 2003) Por ello, resulta de interés y utilidad realizar estudios sobre dinámica de distintos elementos traza en organismos con diferentes hábitos alimenticios y en ambientes con diferente exposición de metales. En ese sentido, los peces representan un grupo ideal para estudio de la dinámica de

elementos traza por presentar distintos niveles tróficos, ciclos de vida larga y por presentar movilidad, entre otras características (Páez-Osuna y Osuna-Martínez, 2011).

El objetivo del presente estudio fue analizar la concentración y la dinámica trófica de Cd, Pb, Cu, Zn y Fe en tres especies de peces (*Kyphosus azureus*, *Stegastes rectifraenum* y *Balistes polylepis*) con diferentes hábitos alimentarios y que habitan en arrecifes rocosos con diferentes grados de exposición a dichos elementos. Las fuentes de alimento de los peces se describen a partir del análisis de su contenido estomacal, así como de las señales isotópicas del carbono  $\delta^{13}\text{C}$  y nitrógeno  $\delta^{15}\text{N}$ .

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Contenidos estomacales en peces

El análisis de contenido estomacal se ha considerado una práctica común y valiosa en la ecología trófica marina, por ejemplo, los estudios en peces con diferentes hábitos alimentarios (Hobson, 1965; Hyslop, 1980; Mar Silva *et al.*, 2014). Mediante este análisis se obtiene información de cómo los peces interactúan con otras especies y con su medio ambiente (Mar Silva *et al.*, 2014). A partir de la descripción y cuantificación de la dieta de los peces podemos evaluar las interacciones con otros organismos y estimar cual es la posición que ocupan dentro de las tramas tróficas (Hyslop, 1980; Pauly *et al.*, 2000). Existen peces herbívoros, omnívoros y carnívoros que forman complejas cadenas tróficas, que suelen conectar a través de su alimentación a zonas litorales, bentónicas y pelágicas (Schindler y Scheurell, 2002). La clasificación de los peces por grupos tróficos facilita la comparación de la estructura de estas comunidades ya que los peces representan importantes depredadores en los sistemas marinos e interactúan en casi todos los niveles tróficos (Russell, 1983; Humann y Deloach, 1993).

El nivel trófico de los peces pertenecientes a la familia Kyphosidae y de las especies *S. rectifraenum* (Pomacentridae), *B. polylepis* y *B. vetula* (Balistidae) ha sido definido a partir de estudios de su dieta (Tabla I). En la familia *Kyphosidae*, las especies se alimentan, principalmente, de macroalgas de las tres divisiones Rhodophyta, Ochrophyta y

Chlorophyta (Randall, 1967; Russell, 1983; Clements y Choat, 1997; Sturm y Horn, 1998), con diferencias en la preferencia del tipo de macroalgas (Randall, 1967; Clements y Choat, 1997). Randall (1967) observó que *Kyphosus incisor* se alimenta principalmente de macroalgas pardas, mientras que *K. sectatrix* se alimenta principalmente de macroalgas rojas. Clements y Choat (1997) reportaron que *K. sydneyanus* se alimenta de macroalgas pardas mientras que *K. vaigiensis* de macroalgas verdes, principalmente. En el Golfo de California, los peces de la especie *Hermosilla azurea* se alimentan de macroalgas rojas en un 82%, seguidas de macroalgas pardas con un 8% y macroalgas verdes con 4% (Sturm y Horn, 1998).

La dieta de *S. rectifraenum* ha mostrado diferencias en sus hábitos alimenticios en diferentes estudios. Algunos autores han reportado que se trata de una especie territorial y herbívora (Hobson, 1965; Allen y Robertson, 1994), mientras que otros más la describen de hábitos omnívoros (Montgomery, 1980; Aguilar-Medrano *et al.*, 2011; Moreno-Sánchez *et al.*, 2011). En el Golfo de California, se ha descrito a *S. rectifraenum* como una especie territorial y omnívora, la cual, según el índice de importancia relativa (%IIR) se alimenta principalmente de copépodos bentónicos (28%), el alga verde *Bryopsis* spp. (11%), gasterópodos del género *Cerithium* (10%), pequeños moluscos (10%) y algas café del género *Ectocarpus* (7%) (Moreno-Sánchez *et al.*, 2011).

Estudios sobre la dieta de *B. polylepis* han concluido que esta especie es principalmente carnívora (Hobson, 1965; Randall, 1967; Humann y Deloach, 1993). Dentro de los principales componentes alimenticios para *B. polylepis* se encuentran equinodermos, moluscos, crustáceos, poliquetos, peces y ocasionalmente macroalgas (Hobson, 1965; Randall, 1967; Humann y Deloach, 1993). Abitia *et al.* (1990) realizaron un estudio sobre la dieta de *B. polylepis* en el Golfo de California, y reportan como que los principales componentes de la dieta son, crustáceos (13% IIR), moluscos pelecípodos (13% IIR) y gasterópodos (2% IIR), entre otros.

**Tabla I.** Componentes de la dieta y nivel trófico de algunas especies de la familia Kyphosidae, y de *S. rectifraenum*, *B. polylepis* y *B. vetula*.

<b>Especie</b>	<b>Región</b>	<b>Dieta</b>	<b>Nivel trófico</b>	<b>Referencia</b>
<i>Kyphosus incisor</i>	Caribe	Macroalgas pardas	Herbívoro	Randall, 1967
<i>Kyphosus sectatrix</i>	Caribe	Macroalgas rojas, pardas y verdes	Herbívoro	Randall, 1967
<i>Girella tricuspidata</i>	Nueva Zelanda	Macroalgas pardas y rojas	Herbívoro	Russell, 1983
<i>Kyphosus sydneyanus</i>	Nueva Zelanda	Macroalgas pardas y rojas	Herbívoro	Russell, 1983
<i>Kyphosus sydneyanus</i>	Australia	Macroalgas pardas y rojas	Herbívoro	Clements y Choat, 1997
<i>Kyphosus bigibbus</i>	Australia	Macroalgas pardas y rojas	Herbívoro	Clements y Choat, 1997
<i>Kyphosus vaigiensis</i>	Australia	Macroalgas pardas y verdes	Herbívoro	Clements y Choat, 1997
<i>Hermosilla azurea</i>	Golfo de California	Macroalgas rojas, pardas y verdes	Herbívoro	Sturm y Horn, 1998
<i>Stegastes rectifraenum</i>	Golfo de California	Macroalgas	Herbívoro	Hobson, 1965
<i>Stegastes rectifraenum</i>	Golfo de California	Macroalgas y pequeños invertebrados	Herbívoro	Montgomery, 1980
<i>Stegastes rectifraenum</i>	Pacífico Mexicano	Macroalgas rojas, pardas y verdes	Herbívoro	Allen y Robertson, 1994
<i>Stegastes rectifraenum</i>	Pacífico Mexicano	Spp. bentónicas	Omnívoro	Aguilar-Medrano <i>et al.</i> , 2011
<i>Stegastes rectifraenum</i>	Golfo de California	Copépodos, Bryopsis, Cerithium, Olivella y Ectocarpus	Omnívoro	Moreno-Sánchez <i>et al.</i> , 2011
<i>Balistes polylepis</i>	Golfo de California	Crustáceos, Moluscos y Peces	Carnívoro	Hobson, 1965
<i>Balistes vetula</i>	Caribe	Equinodermos, Crustáceos, Moluscos, Poliquetos y Macroalgas	Omnívoro	Randall, 1967
<i>Balistes polylepis</i>	Golfo de California	Crustáceos y Moluscos	Carnívoro	Abitia <i>et al.</i> , 1990
<i>Balistes polylepis</i>	Galápagos	Equinodermos, Crustáceos y Moluscos	Carnívoro	Humann y Deloach, 1993

## 2.2 Isótopos estables

En ecología marina, el estudio de la dieta de organismos ha considerado el análisis de contenido estomacal para inferir la composición del alimento consumido, estrategias alimenticias y posiciones tróficas de los organismos. La información que aporta este análisis ayuda a entender el funcionamiento de las comunidades, así como evaluar la importancia en los flujos de energía de un sistema (Jara-Marini *et al.*, 2009). Sin embargo, esta técnica aporta información sobre la composición de la dieta ingerida en un momento dado. Por su parte, técnicas como el análisis de isótopos estables como trazadores tróficos proporcionan una representación integral de la dieta asimilada a largo o corto plazo, dependiendo de las tasas de ingestión, de acumulación, de recambio de tejido analizado y del crecimiento (Gaston y Suthers, 2004). Los análisis de isótopos estables de Carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) y Nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ) aportan información sobre el origen de los nutrientes asimilados por los diferentes componentes ecosistémicos de una comunidad y el nivel trófico de los organismos, así como el flujo de estos nutrientes entre los organismos, ya que la composición isotópica del tejido de los consumidores proviene directamente de su dieta (Croteau *et al.*, 2005; Aguilar-Castro, 2003).

Las proporciones de los isótopos estables presentes naturalmente en los organismos muestran rápidamente cómo se cicla la materia orgánica en los distintos ecosistemas. Por ejemplo, en los sistemas acuáticos, con las señales de las composiciones isotópicas de los nutrientes disueltos, de las plantas acuáticas y de los animales, se puede realizar un esquema de la estructura de la red trófica (Minagawa *et al.*, 1984). Los isótopos estables más utilizados en los estudios ecológicos son los del carbono  $\delta^{13}\text{C}$  y nitrógeno  $\delta^{15}\text{N}$  (Hershey *et al.*, 1996), pues representan trazadores ecológicos para evaluar el flujo de nutrientes en los ecosistemas y para estudiar la dieta y las relaciones tróficas en el largo plazo (Croteau *et al.*, 2005). A partir de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  se pueden conocer las fuentes de materia orgánica y con los valores  $\delta^{15}\text{N}$  se puede identificar la posición de los distintos organismos en las redes tróficas de los ecosistemas (Hershey *et al.*, 1996). Desde esta perspectiva, se han utilizado los isótopos estables con éxito en la descripción de distintos tipos de ecosistemas acuáticos. En las costas de la Península de Baja California, el uso de

isótopos estables, en peces, se ha utilizado principalmente para establecer relaciones tróficas entre peces grandes, como lo son especies pelágicas como el tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Aguilar-Castro, 2003), tiburón azul *Prionace glauca* (Polo-Silva *et al.*, 2012), así como para grandes mamíferos marinos como la ballena azul *Balaenoptera musculus* (Busquets-Vass, 2008), entre otros.

### 2.3 Elementos traza

Los elementos traza u oligoelementos (del griego pequeño o reducido) constituyen un grupo de micronutrientes presentes en los organismos en cantidades inferiores a 0,01% del peso corporal total. Se les denomina elementos traza ya que esta terminología es utilizada generalmente cuando se les relaciona con su análisis, por tratarse de la detección de concentraciones en partes por millón (ppm) (Villa-Elizaga *et al.*, 1999), es decir  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Estos elementos a pesar de estar presentes en cantidades muy pequeñas en los tejidos corporales de los organismos, se consideran nutrientes esenciales por desempeñar una serie de funciones indispensables para mantener la vida. En concentraciones inadecuadas deterioran las funciones vitales, y por lo general, son perjudiciales. Por otro lado, entre estos elementos hay algunos como Pb que en bajas concentraciones puede interferir con las funciones vitales del organismo (Reinhold, 1975). Los elementos traza pueden ser esenciales o no esenciales para los organismos. La esencialidad de un elemento traza se ha definido de muchas maneras. La definición más simple es “elemento esencial es aquel que es necesario para mantener las funciones fisiológicas correctamente y su ausencia o carencia es determinante para la salud del organismo” (Alarcón-Corredor, 2009). Mertz (1981) propuso una definición más general y más ampliamente aceptada, mencionando que “un elemento es esencial cuando su ingreso deficiente determina invariablemente la disminución de una función de óptima a subóptima y cuando su administración (y no la de otros elementos) en cantidades fisiológicas y/o adecuadas previene esta alteración”.

Se reconocen 23 elementos esenciales que son necesarios para una adecuada actividad metabólica en la mayoría de los animales; estos son: calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na), cloro (Cl), azufre (S), zinc (Zn), hierro (Fe), cobre (Cu), yodo (I), flúor (F), selenio (Se), cromo (Cr), silicio (Si), níquel (Ni), manganeso



(Mn), cobalto (Co), estaño (Sn), bromo (Br), boro (B) y molibdeno (Mo). El resto de elementos de la tabla periódica se consideran no esenciales para procesos metabólicos en la mayoría de seres vivos y su presencia se califica como inusual (Fraústo da Silva y Williams, 1991). Sin embargo, se reconoce que algunos elementos no esenciales para algunos organismos pueden ser esenciales para otros, por ejemplo, el caso del Cd en diatomeas del género *Thalassiosira* (Price y Morel, 1990).

## 2.4 Elementos traza en el medio marino

La presencia de elementos traza en el medio marino es el resultado de la migración biogeoquímica de los elementos desde las fuentes naturales y las antropogénicas, situadas principalmente en el continente y transportadas por vías fluviales y atmosféricas hacia las cuencas de depósito final en los mares marginales y en el océano (Shumilin *et al.*, 2000). Algunos elementos traza como Cu, Zn, Ni, Co, Cd, Pb, Hg y Ag, se consideran entre los metales de alta prioridad, dado que en concentraciones por arriba de las requeridas por los organismos representan un peligro para los ecosistemas terrestres y marinos (Gray, 2002; Rainbow, 2002). Entre las numerosas aportaciones de origen antropogénico por las cuales ingresan estos elementos al medio ambiente se encuentran: 1) procesos industriales minero-metalúrgicos, 2) producción de cemento y consumo de combustibles fósiles, 3) utilización de metales y componentes metálicos y 4) lixiviación de los metales desde los depósitos de desperdicios sólidos y basura en general (Páez-Osuna *et al.*, 2011).

Una de las áreas interesantes para el estudio de la dinámica de elementos traza en el Golfo de California, es la ubicada en la porción central de la costa oriental de la Península de Baja California Sur, en los alrededores del poblado de Santa Rosalía donde se encuentra Minera El Boleo. Esta área destaca por la presencia de yacimientos de minerales de cobre-cobalto, manganeso y yeso (Escadón, 1995; Wilson y Rocha, 1955; Shumilin *et al.*, 2000), que presentan altas concentraciones de metales, tales como Cu, Zn, Co, Pb, Mn, Ag (Wilson y Rocha, 1955). Estos elementos a diferencia de otros componentes orgánicos, son persistentes, potencialmente reactivos y pueden ser bioacumulados en la trama trófica, tanto los elementos esenciales (Fe, Cu, Zn, Co, Mn, Cr, Mo, Se y Ni) como los no-

esenciales (As, Ag, Hg, Pb y Cd, entre otros). Ambos grupos de elementos son potencialmente tóxicos para el ecosistema dependiendo de los requerimientos nutricionales de cada especie, los cuales al sobrepasarse pueden causar efectos adversos en la salud de la biota (Rainbow, 2002).

Las investigaciones sobre los elementos traza en tramas tróficas del Golfo de California, se ha orientado principalmente a invertebrados (Hernández-Almaraz *et al.*, 2014) y algunos grandes peces pelágicos (Barrera-García *et al.*, 2013). Hernández-Almaraz *et al.* (2013) encontró que una de las principales fuentes de alimento del erizo *Tripneustes depressus* son las macroalgas, las cuales son responsables de incorporar Cd, Cu, Zn y Fe, y que la acumulación de ciertos elementos es variable también de acuerdo a la especie. En peces, se han reportado diferencias significativas en las concentraciones de Hg y Cu en músculo y de Hg, As, Zn, Cd y Pb en hígado y riñón asociadas principalmente con la distribución espacial, sexo y estadio de madurez en el tiburón azul (Barrera García *et al.*, 2013). Otros trabajos realizados en las lagunas costeras del Golfo de California, se han enfocado a estudiar la concentración de elementos traza principalmente de Cd y Pb en función al nivel trófico de las especies (Frías-Espéricueta *et al.*, 2010; Ruelas-Inzunza *et al.*, 2010; Quintero-Alvarez *et al.*, 2012). Ruelas-Inzunza *et al.* (2010) encontraron que los niveles de Pb eran significativamente mayores en especies herbívoras en comparación con las especies carnívoras (Tabla II). Por otro lado, Quintero-Alvarez *et al.* (2012) también reportó que las mayores concentraciones de Pb las presentaban los peces herbívoro, sin embargo, para Cd los peces carnívoros presentaban las mayores concentraciones en comparación con los otros grupos de peces. El incremento en la concentración de elementos traza en función al nivel trófico sigue siendo un tema de debate. Por ejemplo, algunos autores encuentran biomagnificación para Cd (Barwick y Maher, 2003), mientras otros no encuentran para Cd, Pb y otros elementos (Amiard *et al.*, 1980). Por ello, la importancia de estudiarle en diferentes grupos y ambientes marinos.

**Tabla II.** Concentraciones promedio ( $\mu\text{g g}^{-1}$  m peso seco) de Cd y Pb en peces herbívoros, omnívoros y carnívoros del Golfo de California.

Nivel trófico	Especie	Región	Cd	Pb	Referencia
Herbívoro	<i>Anchovia macrolepidota</i>	Golfo de California	0.55	1.07	Quintero-Alvarez <i>et al.</i> , 2012
Omnívoro	<i>Mugil curema</i>	Golfo de California	0.4	2.8	Izaguirre-Fierro <i>et al.</i> , 1992
Omnívoro	<i>Oreochromis mossambicus</i>	Golfo de California	0.6	1	Izaguirre-Fierro <i>et al.</i> , 1992 Ruelas-Inzunza y Páez-Osuna, 2008
Omnívoro	<i>Mugil cephalus</i>	Golfo de California	0.3	1	
Omnívoro	<i>Mugil cephalus</i>	Golfo de California	<0.5	1.25	Ruelas-Inzunza <i>et al.</i> , 2010
Omnívoro	<i>Mugil cephalus</i>	Golfo de California	0.33	3.05	Frías-Espericueta <i>et al.</i> , 2010
Omnívoro	<i>Mugil cephalus</i>	Golfo de California	0.24	0.17	Quintero-Alvarez <i>et al.</i> , 2012
Carnívoro	<i>Scomberomorus sierra</i>	Golfo de California	<0.5	0.8	Ruelas-Inzunza <i>et al.</i> , 2010
Carnívoro	<i>Scomberomorus sierra</i>	Golfo de California	0.47	3.95	Frías-Espericueta <i>et al.</i> , 2010
Carnívoro	<i>Sphoeroides annulatus</i>	Golfo de California	0.89	0.04	Quintero-Alvarez <i>et al.</i> , 2012
Carnívoro	<i>Achirus mazatlanus</i>	Golfo de California	0.59	0.48	Quintero-Alvarez <i>et al.</i> , 2012

### 3. JUSTIFICACIÓN

Los sedimentos superficiales del litoral costero de Santa Rosalía, Baja California Sur se han caracterizado por presentar un enriquecimiento de elementos traza, entre los que destacan el Co, Cu, Mn y Zn, entre otros. Este enriquecimiento está relacionado directamente con el aporte natural del continente, destacando el arrastre de tierra a través de arroyos durante los periodos de lluvias y la fuerte actividad minera que se ha desarrollado en dicha zona, de manera intermitente desde la segunda mitad del siglo XIX. Por lo anterior, el estudio de la acumulación de elementos químicos en distintos organismos, en este caso, peces de arrecifes rocosos, aportará información importante sobre la potencial movilidad de estos elementos en peces con diferentes hábitos alimenticios.

#### 4. HIPÓTESIS

Si la acumulación de elementos traza es menor en niveles tróficos inferiores entonces se esperaría que los peces herbívoros tuvieran concentraciones menores de Cd, Pb, Cu, Zn y Fe que los peces de niveles tróficos superiores.

#### 5. OBJETIVOS

##### 5.1 Objetivo general

Estimar la concentración de cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu), zinc (Zn) y hierro (Fe) en tres especies de peces con diferente nivel trófico, *K. azureus*, *S. rectifraenum* y *B. polylepis*, que habitan en arrecifes rocosos de Santa Rosalía, Baja California Sur.

##### 5.2 Objetivos específicos

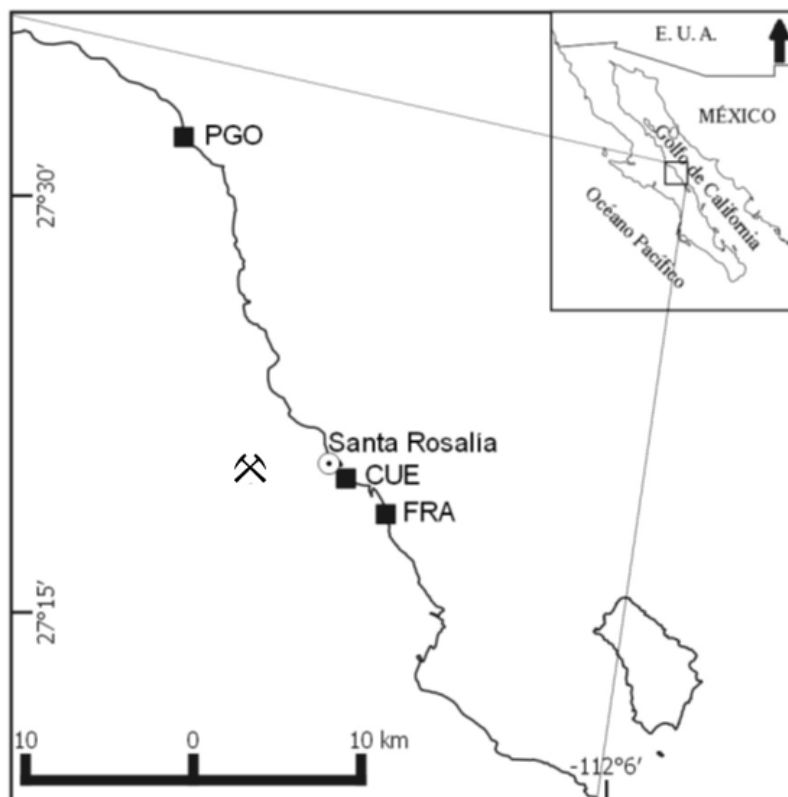
- Describir la dieta y nivel trófico de *K. azureus*, *S. rectifraenum* y *B. polylepis* a partir del análisis de su contenido estomacal.
- Determinar la fuente de alimento y posición trófica de *K. azureus*, *S. rectifraenum* y *B. polylepis* mediante las señales isotópicas del Carbono  $\delta^{13}\text{C}$  y Nitrógeno  $\delta^{15}\text{N}$ .
- Estimar la concentración de Cd, Pb, Cu, Zn y Fe en *K. azureus*, *S. rectifraenum* y *B. polylepis*.
- Relacionar el nivel trófico con la concentración de Cd, Pb, Cu, Zn y Fe de *K. azureus*, *S. rectifraenum* y *B. polylepis*.

## 6. MATERIAL Y MÉTODOS

### 6.1 Área de estudio

El área de estudio se encuentra en la porción central de la costa oriental de la Península de Baja California Sur, en los alrededores del poblado de Santa Rosalía (Fig. 1). La cuenca de Santa Rosalía está limitada al N y NW por el sistema volcánico plio-cuaternario de Las Tres vírgenes- La Caldera-La Reforma y al S y SW por la sierra de Santa Lucía. El tipo de clima es muy árido con temperatura media de 23.4 °C y una máxima de 44 °C siguiendo la clasificación de Köppen, modificada por García (2004). Se ha reportado una precipitación media anual de 117.2 mm, la mediana de 87.4 mm y la moda de 53.4 mm; las lluvias ocurren durante el verano (Salinas-Zavala *et al.*, 1992). En Santa Rosalía se encuentra la Minera El Boleo, empresa dedicada a la extracción de cobre, principalmente, cuya operación ha contribuido a la contaminación de los sedimentos superficiales, con Co, Cu, Mn y Zn, por los residuos mineros y desechos de fundición (Shumilin *et al.*, 2000). En el medio marino, a lo largo del litoral costero se presentan arrecifes rocosos, en los que el alga café *Sargassum* forma crecimientos evidentes desde la superficie, los cuales cubren extensiones que van desde unos metros hasta varias hectáreas (Suárez-Castillo *et al.*, 2013). En los mantos de *Sargassum* habitan una gran cantidad de especies marinas, como son los erizos, gasterópodos y peces (Foster *et al.*, 2007, Suárez-Castillo, 2008).

En el área se seleccionaron tres sitios, Punta Gorda (27° 32' 6.6"N y 112° 21' 15.4"W), Las Cuevitas (39° 54' 35.05"N y 127° 58' 7.499"W) y Los Frailes (27° 18' 32"N y 112°13' 58.101"W) para la captura de peces (Fig. 1). Las Cuevitas se encuentra al final del muelle de Santa Rosalía, cerca del área de operación de la mina, y en donde se han reportado altas concentraciones de elementos traza en los sedimentos superficiales (Choumiline *et al.*, 2006). Punta Gorda y Los Frailes se encuentran a 10 km y a 3 km al norte y al sur de Las Cuevitas, respectivamente, y se han reportado menores concentraciones de elementos traza en los sedimentos superficiales de éstos sitios, en comparación con sitios cercanos a la operación de la mina Santa Rosalía (Choumiline *et al.*, 2006).



**Figura 1.** Sitios de estudio en el área de Santa Rosalía, Baja California Sur. Punta Gorda (PGO), Las Cuevitas (CUE) y Los Frailes (FRA).

## 6.2 Captura de peces

En cada sitio, se capturaron peces de tres especies, chopo *K. azureus* (Jenkins y Evermann, 1889), damisela *S. rectifraenum* (Gill, 1862) y cochito *B. polylepis* (Steindachner, 1876), en mayo y septiembre de 2015, que representan las condiciones de secas y de lluvias, respectivamente (Salinas-Zavala *et al.*, 1992). Las tres especies son características de arrecifes rocosos, y las chopas y cochitos se capturan en el área de Santa Rosalía, BCS de acuerdo a los registros de los avisos de arribo de 1998 a 2011, que concentra la autoridad pesquera federal (Alexia Vázquez, *com per*). En cada visita, se hicieron esfuerzos para capturar hasta 15 individuos de cada especie según su disponibilidad en los sitios. Los peces se capturaron mediante buceo libre utilizando arpones de tipo hawaiano. En campo, para cada organismo se registró su longitud total ( $\pm 1$  mm) utilizando un ictiómetro convencional

y su peso total usando una balanza granataria ( $\pm 0.01$  g). Posteriormente, a cada individuo se le realizó su disección para separar el estómago y tomar muestras de tejido muscular. Los estómagos y las muestras de músculo fueron guardados, individualmente, en bolsas de polietileno con su etiqueta y se colocaron en ambiente frío usando hieleras para su transporte. En laboratorio, los estómagos y las las muestras de músculo se mantuvieron en un congelador a  $-4$  °C para su posterior análisis de contenidos estomacales, isótopos estables y concentración de elementos traza. Posteriormente, se descongelaron a temperatura ambiente y fueron desecadas en horno por calor seco durante 24 – 48 horas a  $75^{\circ}\text{C}$ . Se pulverizaron usando un agitador electro-mecánico Wig-L-Bug modelo 30 [(0013-5236) (3110-B)] adicionado con una cubeta de acero inoxidable y una esfera de 6.2 mm del mismo material hasta obtener un polvo homogéneo. El pulverizado se realizó considerando que mientras más fino el grano, más homogénea será la mezcla. Cada muestra se guardó en un frasco de vidrio y se almacenó en una cámara de desecación hasta su análisis de isótopos y elementos traza.

### **6.3 Contenido estomacal**

El análisis de contenido estomacal se realizó en peces capturados en dos de los sitios, Punta Gorda y Las Cuevitas. En laboratorio, para cada individuo se pesó el estómago completo (PEC), separado del intestino y del esófago. Posteriormente, se recuperó el contenido estomacal y se pesó el estómago vacío (PEV). De acuerdo a los hábitos alimentarios de cada especie y el tipo de presas encontradas en los estómagos se siguieron dos métodos para revisar el contenido estomacal de los peces.

En *K. azureus* que es una especie que consume macroalgas principalmente (Sturm y Horn, 1998), el contenido estomacal fue homogenizado en 50 ml de agua y se lavó en tamices de  $700\ \mu\text{m}$ ; se recuperó el material y se colocó en papel filtro para remover el exceso de humedad y pesarse usando una balanza granataria ( $\pm 0.01$  g). Para identificar los componentes estomacales, se tomó 1 g de muestra de la fracción de  $700\ \mu\text{m}$  y se colocó junto con 30 ml de agua en una caja Petri de 15 cm con 60 puntos marcados azarosamente. Cada fragmento que cayó en el intercepto marcado por los puntos fue observado bajo

microscopio estereoscópico para su identificación hasta el mínimo taxón posible, dependiendo del grado de digestión de los componentes. Los fragmentos fueron agrupados por taxón y se pesaron para tener una estimación de su abundancia. Por último, se realizó una revisión de los distintos componentes de la muestra, con el fin de identificar la totalidad de los componentes que conforman la dieta de la especie.

En el caso de las especies reportadas como omnívoras *S. rectifraenum* (Moreno-Sánchez *et al.*, 2011) y carnívoras *B. polylepis* (Abita *et al.*, 1990) se identificaron todos los componentes del contenido estomacal. Las diferentes especies presa se separaron de acuerdo a su grupo taxonómico, y se identificaron hasta el mínimo taxón posible, dependiendo del grado de digestión de las presas.

Para la separación e identificación de fragmentos de macroalgas y presas se usó un estereomicroscopio y claves taxonómicas específicas, respectivamente. Para la identificación de macroalgas se utilizaron los trabajos de Norris (2014) y para los organismos invertebrados Brusca (1980), principalmente. Además se contó con la asesoría de especialistas en ecología trófica del Laboratorio de Macroalgas y Lab. de Necton y Ecología de Arrecifes del CIBNOR.

Para definir el porcentaje de representatividad de los componentes/presas identificados en la dieta de los peces, se estimó el número de presas máxima esperada a partir del número de estómagos analizados. Se utilizaron los métodos no paramétricos de Chao 2, Jackknife 1 y 2 y Bootstrap (Colwell y Coddington, 1994). Se utilizó el software Primer 6, mediante una matriz con el número total de estómagos analizados relacionada con las presas y de manera aleatoria (100 veces), se obtuvo una curva de acumulación sucesiva de presas.

El análisis cuantitativo de los contenidos estomacales consideró la Abundancia específica de la presa expresada como Porcentaje Numérico Específico de la Presa (%NEP) y Porcentaje en Peso Específico de la Presa (%PEP), el Porcentaje de la Frecuencia de Ocurrencia (%FO) y el Índice de Importancia Relativa Específica de la Presa (%IIREP) (Brown *et al.*, 2012).

Abundancia Específica de la Presa (%NEP, %PEP):



(1)

$$\%AEP_i = \frac{\sum_{j=1}^n \%A_{ij}}{n_i}$$

Porcentaje de Frecuencia de Ocurrencia:

(2)

$$FO_i = \frac{n_i}{n}$$

donde  $\%A_{ij}$  es la abundancia (numérica o en peso) de la presa i en el estómago j,  $n_i$  es el número de estómagos con la presa i, y n es el total del número de estómagos.

Índice de Importancia Relativa Específica de la Presa ( $\%IIREP$ ):

(3)

$$\%IIREP = \frac{\%FO \times (\%NEP + \%PEP)}{2} * 100$$

Los valores de  $\%IIREP$  para cada uno de los componentes de la dieta se presentan en tablas, donde se encuentran ordenados por especie de pez, sitio y fecha de colecta.

### 6.3.1 Determinación del nivel trófico

Una vez obtenido el índice de importancia relativa específica de los componentes/presas ( $\%IIREP$ ) de la dieta de las tres especies de peces se determinó su nivel trófico utilizando el software *TrophLab*. Para correr este software es necesario incluir en una matriz las principales presas de la dieta según el  $\%IIREP$ , donde cada presa obtendrá un valor del nivel trófico (ejemplo macroalgas, detritus o plantas nivel trófico =1), que permite asignar el nivel trófico en el que se ubica la especie. Para estimar el nivel trófico de las especies de peces de este estudio, se debe considerar tanto la composición de su dieta, como el valor trófico de cada una de las presas (Pauly *et al.*, 2000). El resultado indica un nivel trófico o posición específica entre 1 y 5, regularmente el valor 5 corresponde al nivel más alto que solo se presenta en depredadores tope.

$$\text{troph} = 1 + \sum_{j=1}^G \text{DC}_{ij} - \text{troph}_j \quad (4)$$

#### 6.4 Isótopos estables

La fuente de alimento y posición trófica de los peces se obtuvo a partir de sus valores isotópicos ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ). Aproximadamente 0.2–0.5 mg de muestra pulverizada del músculo de 10 peces fueron encapsuladas en cilindros de estaño (Coastech Analytical Technologies, Inc.) y se colocaron secuencialmente en pozos individuales de una placa de plástico. Todas las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Isotopía Estable de la Universidad de California en Davis, Ca, E.U.A., para su análisis en un espectrofotómetro de masas isotópicas. A todas las muestras se les determinó el contenido de Carbono (C) y Nitrógeno (N) en un analizador elemental Carlo Erba NA 2100 conectado a un espectrofotómetro de masas Finnigan delta S. Las proporciones isotópicas se determinaron en un analizador de isótopos estables Europa Scientific ANCA-NT 20-20 con un módulo de preparación sólido/líquido. La precisión analítica fue determinada usando cápsulas de estaño vacías como blancos y cápsulas con 0.025 mg de peptona (Sigma Chemical Co., Highland, Illinois, USA) como estándar de referencia (Ben-David y Flaherty). Los resultados se expresaron como proporciones en notación delta ( $\delta$ ) en partes por mil (‰) relativo a un estándar internacional (Vienna PeeDee Belemnite para  $\delta^{13}\text{C}$ , y aire atmosférico para  $\delta^{15}\text{N}$ ) (Ben-David y Flaherty, 2012).

Las proporciones de isótopos estables de carbono y nitrógeno, se expresaron como valores  $\delta$  en partes por mil (‰) de acuerdo a la siguiente ecuación (Hobson y Welch, 1992):

$$(\text{‰}X) = \left( \frac{R \text{ muestra}}{R \text{ estándar}} - 1 \right) * 1000 \quad (5)$$

Donde  $\delta X$  (‰) es  $\delta^{15}\text{N}$  o  $\delta^{13}\text{C}$ , y R muestra y R estándar son las proporciones de  $^{13}\text{C}: ^{12}\text{C}$  o  $^{15}\text{N}: ^{14}\text{N}$  en la muestra y en el estándar, respectivamente.

## 6.5 Elementos traza

Se estimaron las concentraciones de Cd, Pb, Cu, Zn y Fe en las especies de peces en aproximadamente 0.5 g de muestra seca de músculo (N=7). Estas muestras fueron sometidas a digestión ácida a una proporción 3:1 de ácido nítrico y peróxido de hidrógeno (grado analítico; Mallinckrodt J.T. Baker, USA) en un horno de microondas (Mars 5X, CEM; Matthews, USA). Las concentraciones de Cd, Pb, Cu, Zn y Fe para cada muestra digerida fueron cuantificadas por medio de espectrofotometría de absorción atómica (Avanta, GBC Scientific Equipment, Australia) con flama aire-acetileno (Hernández-Almaraz *et al.*, 2014). Los estándares de referencia TORT-2, DORM-2, (National Research Council Canadá, Institute for Marine Biosciences, Certified Reference Materials Programme, Halifax, NS, Canadá) se utilizaron para validar los resultados.

## 6.6 Análisis estadístico

Se comprobó la normalidad con la prueba Kolmogorov-Smirnov y la homocedasticidad con la prueba de Levene de los valores de isótopos y de la concentración de elementos traza. En el caso de metales, debido a que los datos no cumplieron una distribución normal, las concentraciones fueron transformadas mediante la ecuación  $\text{Log}(x+1)$  para lograr su normalidad (Zar, 2010). Para cada especie, los valores de isótopos y de cada elemento traza fueron comparados mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) de dos vías y pruebas *post hoc* (Tukey), donde las variables independientes fueron el sitio y la época del año (Zar, 2010). Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa STATISTICA 8, StatSoft, 2007. Se consideró un valor de  $p \leq 0.05$  para diferencias significativas (Corder y Foreman, 2009).

## 7. RESULTADOS

En total se analizaron 167 peces de las tres especies; 62 de *K. azureus*, 58 de *S. rectifraenum*, y 47 de *B. polylepis*. El número de organismos analizados de las tres especies fue variable entre los muestreos de los tres sitios (Tabla III). En *K. azureus* los peces mas grandes se capturaron en Los Frailes en la época de secas con una longitud promedio de 50.05 cm  $\pm$  0.89 y peso promedio de 2365.60 g  $\pm$  124.26; siendo significativamente diferentes a los peces capturados en el resto de los muestreos ( $P < 0.05$ ). En *S. rectifraenum* los peces con mayor longitud y peso promedio, 12.05 cm  $\pm$  0.16 y 54.10 g  $\pm$  1.34, también fueron de Los Frailes durante la época de secas, pero sólo presentaron diferencias significativas con los peces obtenidos del sitio Punta Gorda en secas, 9.71  $\pm$  0.30 y 21.41  $\pm$  2.16 ( $P < 0.05$ ). En *B. polypes* fueron los peces de Punta Gorda de la época de secas los que tuvieron la mayor longitud (27.73 cm  $\pm$  2.83) y peso (649.83 g  $\pm$  155.68); siendo significativamente diferentes a los peces de Las Cuevitas en secas y Los Frailes en lluvias en longitud y al resto de los grupos en peso ( $P < 0.05$ ).

**Tabla III.** Longitud y peso promedio ( $\pm$  error estándar) de tres especies de peces capturados en Punta Gorda (PGO), Las Cuevitas (CUE) y Los Frailes (FRA), Santa Rosalía, BCS en época de secas (SE) y lluvias. (LI).

Especie	Localidad	Epoca	Total	Longitud total (cm)	Peso (g)
<i>Kyphosus azureus</i>	PGO	SE	10	29.91 $\pm$ 0.78b	680.20 $\pm$ 39.71b
		LI	15	28.80 $\pm$ 0.73ab	429.00 $\pm$ 33.28a
	CUE	SE	7	27.09 $\pm$ 0.81ab	510.14 $\pm$ 42.37ab
		LI	10	29.40 $\pm$ 0.91ab	447.50 $\pm$ 43.17ab
	FRA	SE	10	50.05 $\pm$ 0.89c	2365.60 $\pm$ 124.26c
		LI	10	26.55 $\pm$ 0.30a	336.00 $\pm$ 10.24a
<i>Stegastes rectifraenum</i>	PGO	SE	8	9.71 $\pm$ 0.30a	21.41 $\pm$ 2.16a
		LI	15	11.13 $\pm$ 0.40ab	42.65 $\pm$ 5.16b
	CUE	SE	5	10.30 $\pm$ 0.40ab	33.00 $\pm$ 5.19ab
		LI	10	11.12 $\pm$ 0.31ab	39.92 $\pm$ 2.75b
	FRA	SE	10	12.05 $\pm$ 0.16b	54.10 $\pm$ 1.34b
		LI	10	11.55 $\pm$ 0.24b	44.77 $\pm$ 2.35b
<i>Balistes polylepis</i>	PGO	SE	6	27.73 $\pm$ 2.83c	649.83 $\pm$ 155.68b
		LI	15	24.38 $\pm$ 0.67bc	267.33 $\pm$ 16.78a
	CUE	SE	6	16.88 $\pm$ 0.76a	118.33 $\pm$ 18.52a
		LI	10	25.62 $\pm$ 1.66bc	322.50 $\pm$ 59.85a
	FRA	LI	10	20.76 $\pm$ 0.41ab	158.00 $\pm$ 11.01a

Letras diferentes significan diferencias significativas para cada especie ( $P \leq 0.05$ ).

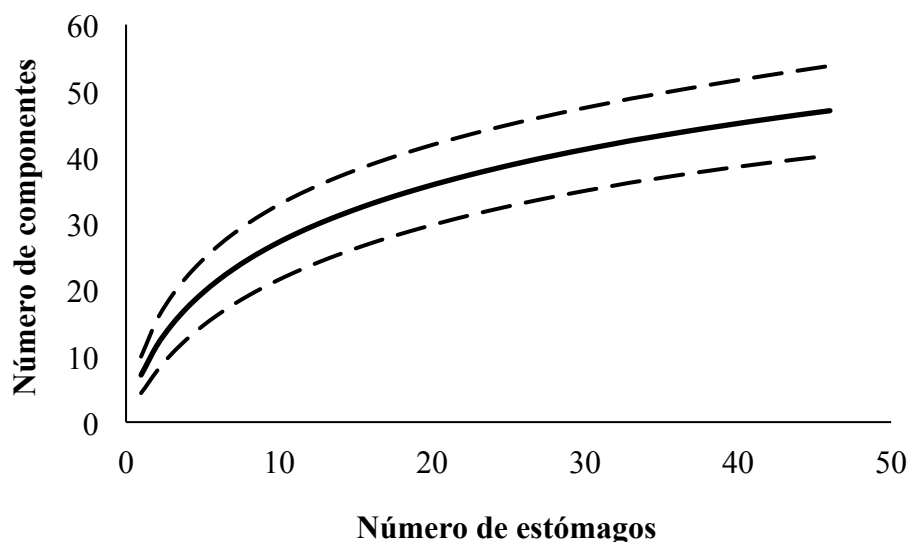
## 7.1 Contenidos estomacales

A continuación se describe la dieta de las tres especies, *K. azureus*, *S. rectifraenum* y *B. polylepis*, en dos sitios, Punta Gorda y Las Cuevitas.

### 7.1.1 *K. azureus*

En promedio, la fracción  $\geq 700 \mu\text{m}$  constituyó más del 90% del material recuperado, a excepción de los peces capturados en Punta Gorda en la época de secas, que fue del 50%. La figura 2 muestra la curva acumulativa del número de presas, con un intervalo de 95%,

encontradas en los estómagos de *K. azureus*. Se encontró una representatividad entre el 65 y 89% con los estimadores Jack 2 y Chao 1, respectivamente.

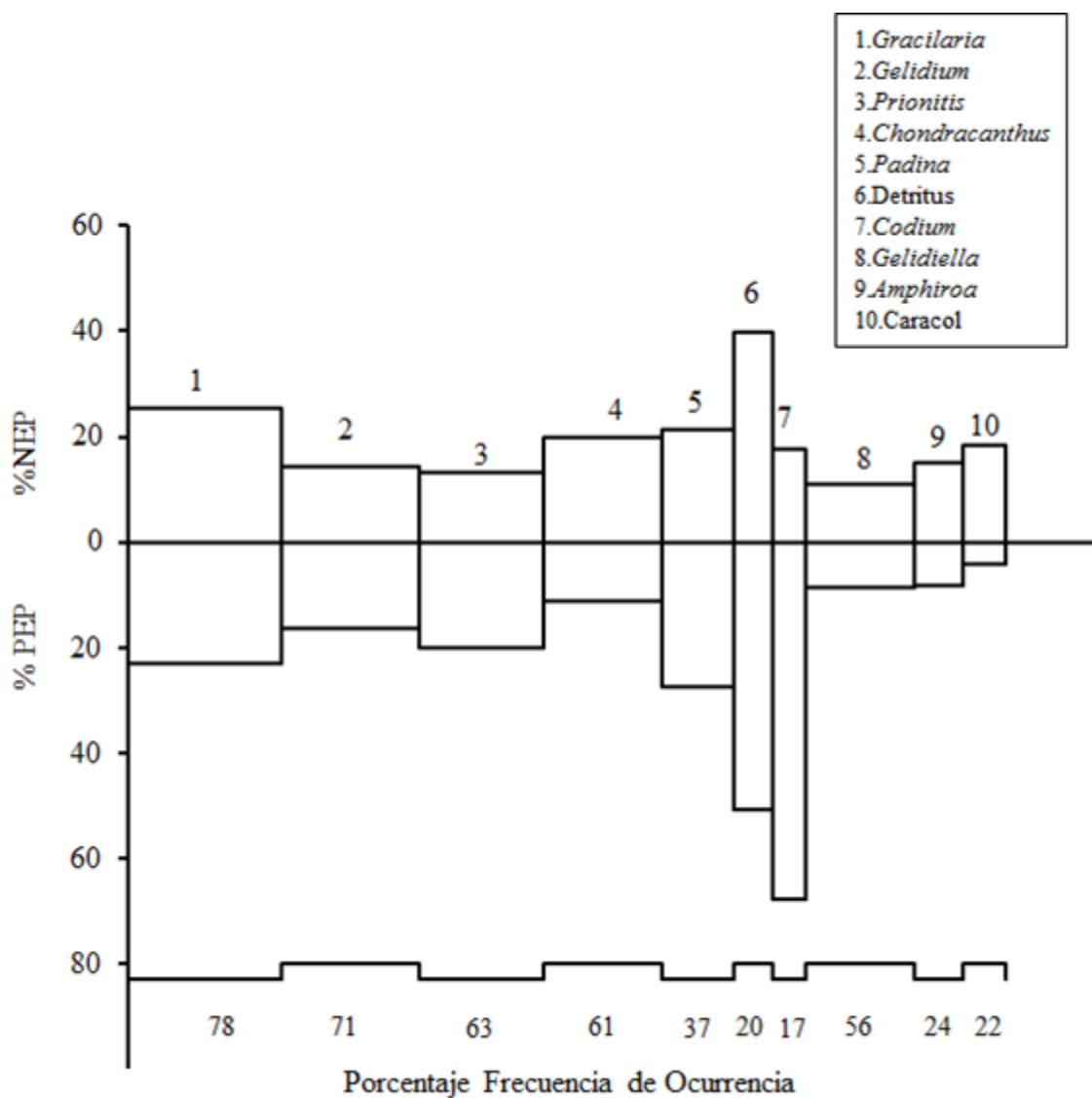


**Figura 2.** Curva de acumulación del número de presas encontradas en la dieta de *K. azureus*.

En total se identificaron 42 presas en los contenidos estomacales de los 62 peces. De las 42 presas, 28 corresponden a macroalgas (3 verdes, 8 café y 17 rojas) y 14 especies de invertebrados, además del detritus (Tabla IV). La mayor frecuencia de ocurrencia se obtuvo para especies de algas rojas como en *Gracilaria* (%FO = 78), *Gelidium* (%FO = 70.7) y *Prionitis* (%FO = 63.4), las cuales tuvieron valores de %NEP y %PEP de 25.2 y 23.0, 14.1 y 16.5 y 13.1 y 20.1, respectivamente. El %IIREP resaltó como las presas más importantes en la dieta de *K. azureus* a algas rojas como *Gracilaria* (18.8), *Gelidium* (10.8), *Prionitis* (10.5), *Chondracanthus* (9.4) y al alga parda *Padina* (8.9). En general, los animales tuvieron valores de %IIREP de 0.1% o menores. El detritus representó un %IIREP = 8.8 (Tabla IV, Fig. 3).

**Tabla IV.** Composición de la dieta de *K. azureus* en porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO), porcentaje numérico específico de la presa (%NEP), porcentaje en peso específico de la presa (%PEP) e índice de importancia relativa específica de la presa (%IIREP).

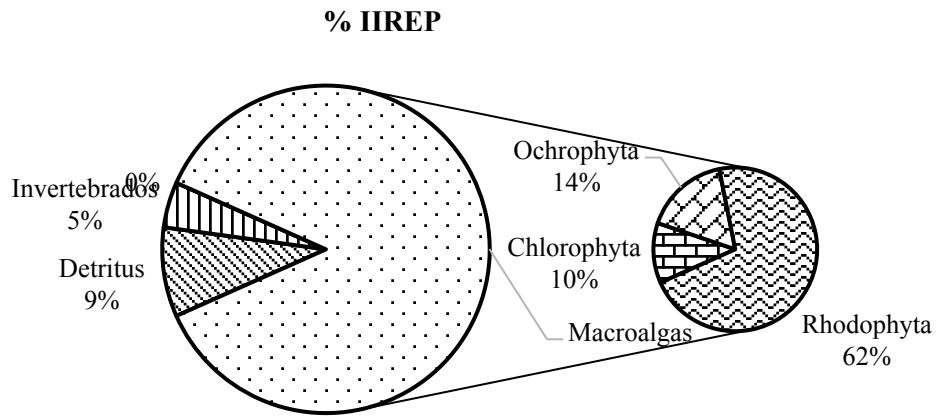
Grupo	Division/Phyllum	Género	%FO	%NEP	%PEP	%IIREP	
Alga	Chlorophyta	<i>Cladophora</i>	19.5	3.7	2.7	0.6	
		<i>Codium</i>	17.1	17.6	67.7	7.3	
		<i>Ulva</i>	22.0	14.4	7.2	2.4	
	Ochrophyta	<i>Clutera</i>	4.9	1.8	0.6	0.1	
		<i>Colpomenia</i>	2.4	1.8	0.6	<0.1	
		<i>Dictyota</i>	14.6	7.3	3.3	0.8	
		<i>Ectocarpus</i>	7.3	29.9	28.1	2.1	
		<i>Padina</i>	36.6	21.4	27.3	8.9	
		<i>Rosenvingea</i>	7.3	8.8	1.9	0.4	
		<i>Sargassum</i>	19.5	13.2	8.2	2.1	
		<i>Sphacelaria</i>	4.9	1.8	0.9	0.1	
		Rhodophyta	<i>Amphiroa</i>	24.4	14.9	8.2	2.8
			<i>Ceramium</i>	2.4	3.5	0.6	<0.1
			<i>Champia</i>	24.4	4.6	10.4	1.8
			<i>Chondracanthus</i>	61.0	19.7	11.2	9.4
			<i>Chondria</i>	2.4	5.3	0.6	0.1
			<i>Cryptonemia</i>	2.4	1.8	0.6	<0.1
	<i>Delesseriaceae</i>		9.8	8.3	11.5	1.0	
	<i>Gelidiella</i>		56.1	10.8	8.5	5.4	
	<i>Gelidium</i>		70.7	14.1	16.5	10.8	
	<i>Gracilaria</i>		78.0	25.2	23.0	18.8	
	<i>Grateolupia</i>		2.4	1.8	0.6	<0.1	
	<i>Laurencia</i>		9.8	3.1	2.9	0.3	
	Metazoa	Bryozoa	<i>Lomentaria</i>	9.8	10.1	2.3	0.6
			<i>Myriogramme</i>	2.4	5.3	0.6	0.1
			<i>Polysiphonia</i>	7.3	1.8	0.6	0.1
		Metazoa	<i>Prionitis</i>	63.4	13.1	20.1	10.5
			<i>Pterosiphonia</i>	4.9	2.6	0.6	0.1
			Briozoos	2.4	10.5	1.1	0.1
			Zoobotryon	7.3	4.7	2.1	0.2
Metazoa(digerido)			2.4	3.5	1.1	0.1	
Nematoda			Nematodos	2.4	8.8	0.6	0.1
Nemertina			Nemertino	2.4	1.8	4.6	0.1
Platelmintos			Trematodos	2.4	1.8	0.6	<0.1
Porifera			Esponja	2.4	1.8	0.6	<0.1
Echinodermata			Erizo	2.4	1.8	0.6	<0.1
Arthropoda			Amphipodo	14.6	12.3	2.3	1.1
			Crustaceo	2.4	1.8	0.6	<0.1
	Mollusca	Bivalvo	4.9	1.8	2.6	0.1	
Chordata	Caracol	22.0	18.5	4.1	2.5		
	Lapa	4.9	1.8	1.7	0.1		
	Tunicado	4.9	1.8	0.6	0.1		
Detritus	Detritus	Detritus	19.5	39.7	50.6	8.8	



**Figura 3.** Principales presas en la dieta de *K. azureus*. Porcentaje numérico específico de la presa (%NEP), porcentaje de peso específico de la presa (%PEP) y la Frecuencia de Ocurrencia (%FO).

De acuerdo al índice de importancia relativa específica de la presa (%IIREP), las macroalgas fueron el componente principal de la dieta de *K. azureus*, con un valor de 86.6%. Dentro de éstas, las algas rojas suman el 61.9% del %IIREP, las algas pardas el 14.4% y las algas verdes el 10.3%. Por otro lado el %IIREP de los invertebrados representó alrededor del 4.6%. El %IIREP del detritus fue de 8.8% (Fig. 4).

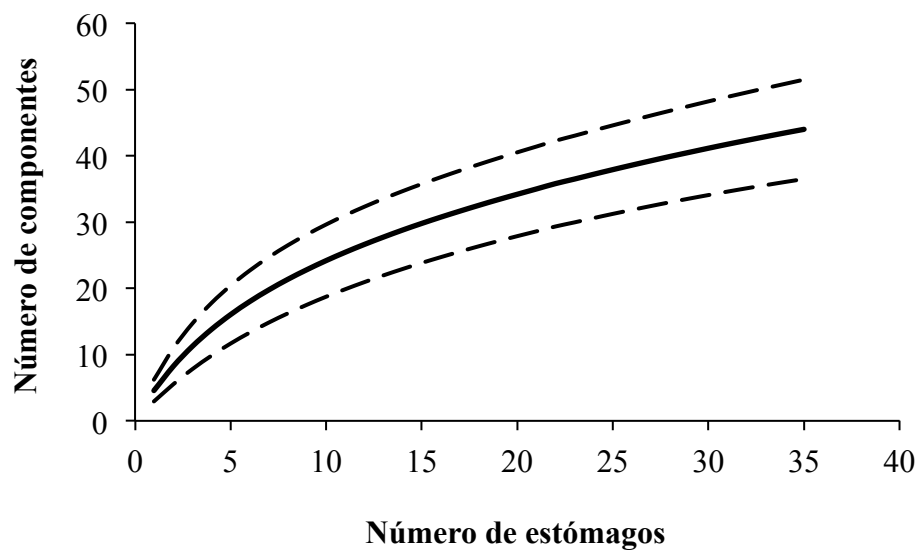




**Figura 4.** Porcentaje del índice de importancia relativa específica de la presa en la dieta de *K. azureus*.

### 7.1.2 *S. rectifraenum*

La figura 5 muestra la curva acumulativa del número de presas, con un intervalo de 95%, encontradas en los estómagos de *S. rectifraenum*. Se encontró una representatividad entre el 58% y 70% con los estimadores Jack 2 y Chao 1, respectivamente.

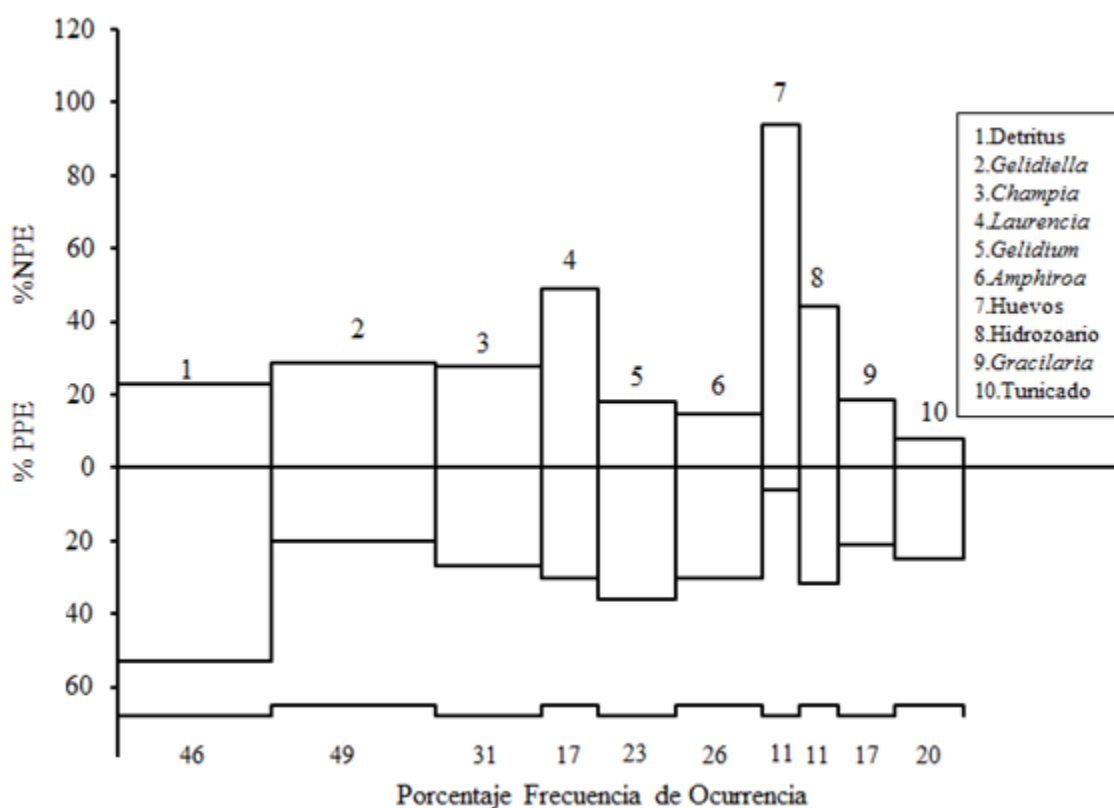


**Figura 5.** Curva de acumulación del número de presas encontradas en la dieta de *S. rectifraenum*.

En los contenidos estomacales de *S. rectifraenum* (58) se encontró en total 41 presas, de las cuales 26 especies son macroalgas (16 pertenecieron a las macroalgas rojas, 6 a las macroalgas pardas y 4 a macroalgas verdes) y 14 especies de invertebrados, además del detritus (Tabla V). Tres especies de algas rojas *Amphiroa*, *Gelidiella*, *Champia*, *Gelidium* y un alga verde *Ulva*, tuvieron los mayores valores de %FO, entre 22.9% y 48.6%. Los valores mas altos de %NEP se encontraron en el alga café *Sphacelaria* (71.9%) y de %PEP en *Osmundacea* (66.4%), siendo en ambas su %FO = 2.9. En *S. rectifraenum* las principales presas fueron algas rojas como *Gelidiella* (%IIREP = 11.9), *Champia* (%IIREP = 8.6), *Laurencia* (%IIREP = 6.8), *Gelidium* (%IIREP = 6.2) y *Amphiroa* (%IIREP = 5.8). Los animales tuvieron valores de %IIREP entre 0.2 y 5.7. El detritus represento un %IIREP = 17.3. (Tabla V, Fig. 6).

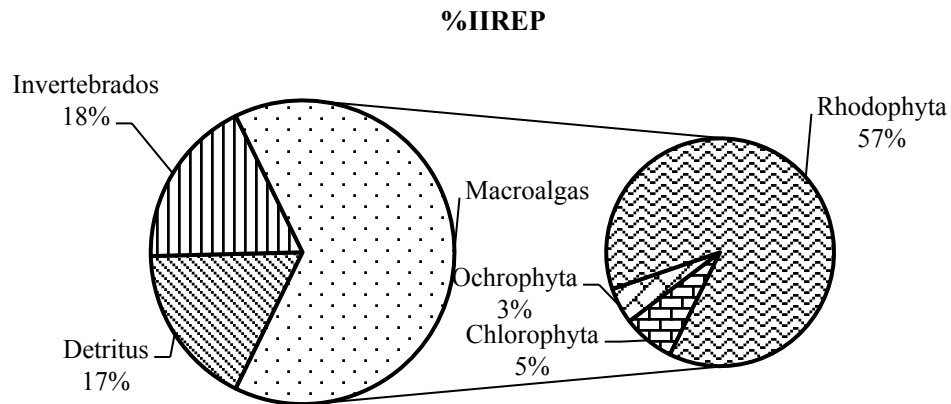
**Tabla V.** Composición de la dieta de *S. rectifraenum* por porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO), porcentaje numérico específico del componente (%NEP), porcentaje en peso específico del componente (%PEP) e índice de importancia relativa específica de la presa (%IIREP).

Grupo	Division/Phyllum	Género	%FO	%NEP	%PEP	%IIREP	
Alga	Chlorophyta	<i>Bryopsis</i>	5.7	16.6	15.1	0.9	
		<i>Cladophora</i>	8.6	9.2	6.0	0.7	
		<i>Codium</i>	2.9	5.5	6.0	0.2	
		<i>Ulva</i>	28.6	12.2	9.1	3.0	
	Ochrophyta	<i>Clutera</i>	2.9	5.5	6.0	0.2	
		<i>Dictyota</i>	14.3	5.5	8.4	1.0	
		<i>Ectocarpus</i>	2.9	5.5	6.0	0.2	
		<i>Padina</i>	2.9	11.1	18.1	0.4	
		<i>Sargassum</i>	5.7	5.5	6.0	0.3	
		<i>Sphacelaria</i>	2.9	71.9	12.1	1.2	
		Rhodophyta	<i>Amphiroa</i>	25.7	14.7	30.2	5.8
			<i>Botryocladia</i>	2.9	5.5	18.1	0.3
	<i>Ceramium</i>		17.1	19.4	9.1	2.4	
	<i>Champia</i>		31.4	27.6	26.9	8.6	
	<i>Chondria</i>		17.1	17.5	12.1	2.5	
	<i>Costra calcarea</i>		5.7	11.1	6.0	0.5	
	<i>Gelidiella</i>		48.6	28.6	20.2	11.9	
	<i>Gelidium</i>		22.9	18.0	36.2	6.2	
	<i>Gigartina</i>		2.9	5.5	6.0	0.2	
	<i>Gracilaria</i>		17.1	18.4	21.1	3.4	
	<i>Hypnea</i>		2.9	5.5	6.0	0.2	
	<i>Laurencia</i>	17.1	48.8	30.2	6.8		
	<i>Lomentaria</i>	11.4	24.9	16.6	2.4		
<i>Osmundea</i>	2.9	38.7	66.4	1.5			
<i>Polysiphonia</i>	11.4	27.6	15.1	2.4			
<i>Pterosiphonia</i>	5.7	30.4	12.1	1.2			
Metazoa	Anelida	Anélido	8.6	11.1	20.1	1.3	
	Polychaeta	Poliqueto	2.9	22.1	6.0	0.4	
	Arthropoda	Amphipodo	8.6	12.9	14.1	1.2	
		Crustaceos	2.9	11.1	6.0	0.2	
		Isopodo	2.9	5.5	6.0	0.2	
		Tanaidacea	2.9	5.5	6.0	0.2	
	Chordata	Tunicado	20.0	7.9	25.0	3.3	
	Equinodermata	Echinoidea	2.9	5.5	6.0	0.2	
		Ophiuroidea	2.9	5.5	6.0	0.2	
	Hydrozoa	Hidrozoario	11.4	44.2	31.7	4.3	
	Metazoa	Huevos	11.4	94.0	6.0	5.7	
	Mollusca	Caracol	5.7	5.5	9.1	0.4	
		Lapa	2.9	5.5	6.0	0.2	
	Porifera	Esponja	2.9	5.5	18.1	0.3	
	Detritus	Detritus	45.7	22.8	52.8	17.3	



**Figura 6.** Principales presas en la dieta de *S. rectifraenum*. Porcentaje numérico específico de la presa (%NEP), porcentaje de peso específico de la presa (%PEP) y la Frecuencia de Ocurrencia (%FO).

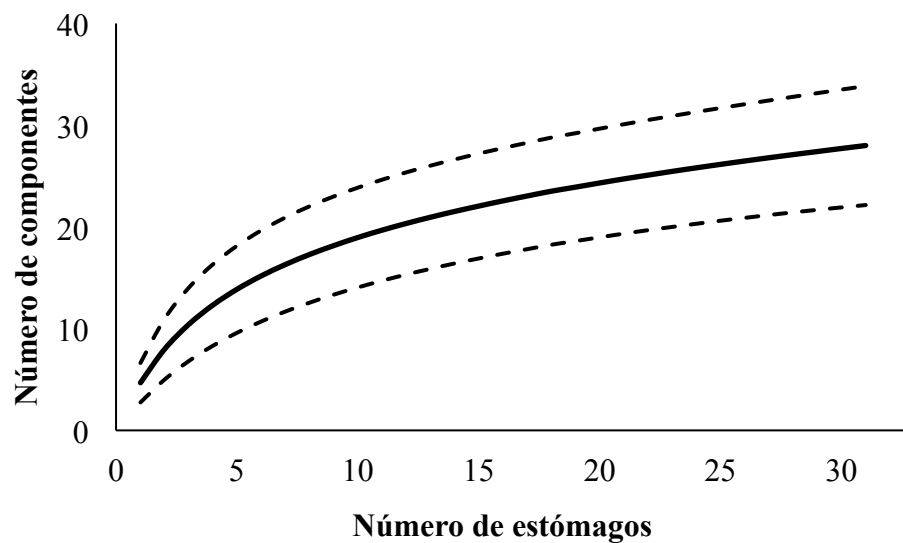
El índice de importancia relativa específica de la presa (%IIREP), mostró que las macroalgas fueron el componente principal de la dieta de *S. rectifraenum*, ya que suman un 64.2%. Dentro del grupo de las macroalgas, las algas rojas representan un %IIREP = 56.2%, las algas verdes con %IIREP = 4.8% y las algas parda con %IIREP = 3.3%. El %IIREP, de los invertebrados en conjunto fue del 18.5%. El del detritus presentó valores de 17.3% (Fig. 7).



**Figura 7.** Porcentaje del índice de importancia relativa específica de la presa en la dieta de *S. rectifraenum*.

### 7.1.3 *B. polylepis*

La figura 8 muestra la curva acumulativa de las presas encontradas en los estómagos de *B. polylepis*, donde se obtuvo una representatividad entre 77% y 97% con los estimadores Jack 2 y Chao 1, respectivamente.

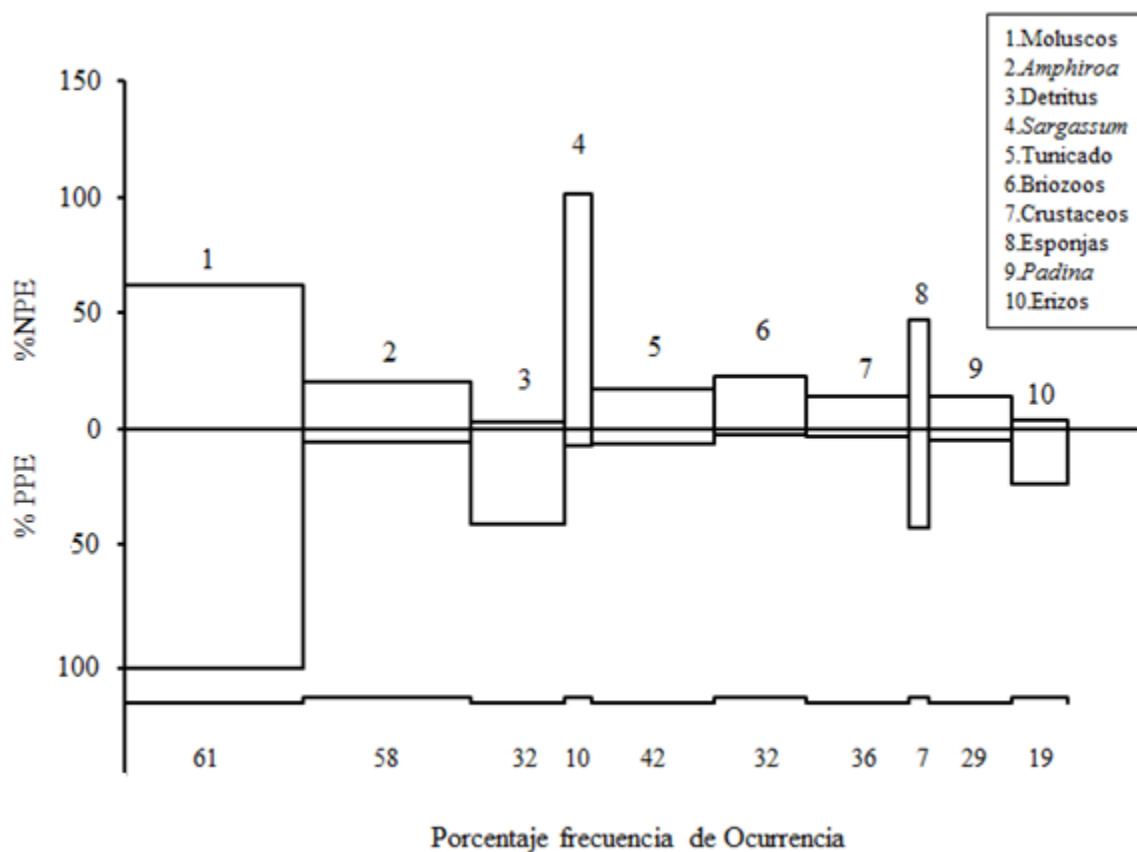


**Figura 8.** Curva de acumulación del número de presas encontradas en la dieta de *B. polylepis*.

En los organismos analizados de *B. polylepis* (47) se encontró un total de 25 presas y detritus. De éstas, 8 son macroalgas y 17 invertebrados (Tabla VI). En esta especie la categoría de moluscos tuvo los mayores valores de %FO = 61.3%, %NEP = 61.7% y %PEP = 100%, siendo el grupo más importante en la dieta de *B. polylepis* con %IIREP = 50.7%. El resto de las presas de macroalgas y animales, tuvieron valores de %IIREP de 7.6%. La coralina del género *Amphiroa* tuvo un %IIREP = 7.6% (Tabla VI, Fig. 9).

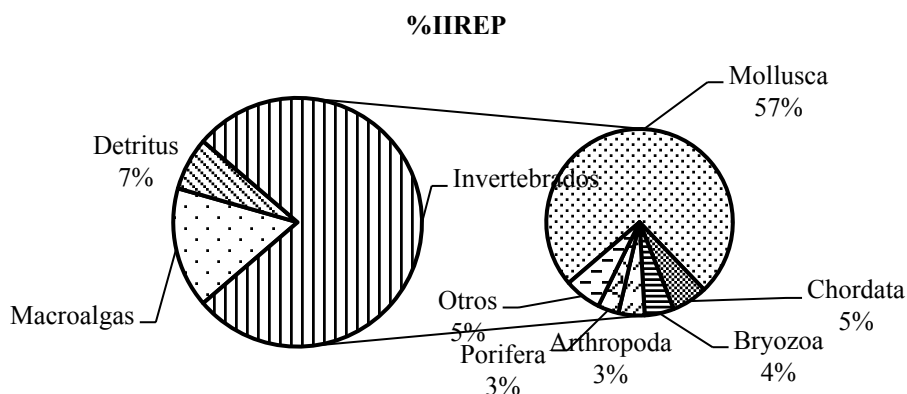
**Tabla VI.** Composición de la dieta de *B. polylepis* por porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO), por porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO), porcentaje numérico específico del componente (%NEP), porcentaje en peso específico del componente (%PEP) e índice de importancia relativa específica de la presa (%IIREP).

Grupo	Division/Phyllum	Género	%FO	%NEP	%PEP	%IIREP
Alga	Chlorophyta	<i>Ulva</i>	3.2	6.3	0.1	0.1
	Ochrophyta	<i>Padina</i>	29.0	13.7	4.6	2.7
		<i>Sargassum</i>	9.7	101.3	7.0	5.2
		<i>Amphiroa</i>	58.1	20.4	5.8	7.6
	Rhodophyta	<i>Gracilaria</i>	3.2	6.3	0.7	0.1
		<i>Grateloupia</i>	3.2	3.2	0.1	0.1
		<i>Polysiphonia</i>	3.2	6.3	0.1	0.1
		Algas Rojas	6.5	7.9	0.2	0.3
Metazoa	Anelida	Poliqueto	9.7	16.9	9.8	1.3
	Arthropoda	Amphipodo	6.5	15.8	2.1	0.6
		Crustaceo	35.5	13.8	3.2	3.0
		Bryozoa	Briozoos	32.3	22.8	2.3
	Chordata	Tunicado	41.9	16.8	6.8	4.9
	Cnidaria	Hydrozoario	16.1	5.7	7.4	1.1
	Echinodermata	Erizo	19.4	3.7	23.9	2.7
		Estrella	3.2	3.2	4.1	0.1
		Mollusca	Bivalvo	22.6	9.5	10.0
	Caracol		12.9	15.0	0.5	1.0
	Crepidula		6.5	9.5	14.4	0.8
	Gasteropodo		16.1	7.0	0.3	0.6
	Lapa		9.7	6.3	0.8	0.3
	Moluscos		61.3	61.7	100	50.7
	Quiton		16.1	5.1	0.3	0.4
Porifera	Escafópodo	3.2	9.5	0.1	0.2	
	Esponja	6.5	47.5	42.5	2.9	
	Detritus	32.3	3.2	40.8	7.1	



**Figura 9.** Principales presas en la dieta de *B. polylepis*. Porcentaje numérico específico de la presa (%NPE), porcentaje de peso específico de la presa (%PEP) y la Frecuencia de Ocurrencia (%FO).

De acuerdo al índice de importancia relativa específica de la presa (%IIREP), la dieta de *B. polylepis* está compuesta principalmente por organismos invertebrados (76.8%) (Fig. 10). Los valores de %IIREP de las macroalgas suman 16.1%, con un 0.1% para algas verdes, 7.9% para café y 8.1% para rojas. El detritus presentó valores de 7.1%.



**Figura 10.** Porcentaje del índice de importancia relativa específico de la presa en la dieta de *B. polylepis*.

#### 7.1.4 Nivel Trófico

El nivel trófico (promedio  $\pm$  ES) estimado a partir de la dieta de los peces indican a *K. azureus* con un nivel trófico de 2.00, el cual corresponde a organismos herbívoros. Para *S. rectifraenum* un nivel trófico de  $2.11 \pm 0.15$ , perteneciente a organismos omnívoros con preferencia por material vegetal y a *B. polylepis* un nivel trófico de  $3.24 \pm 0.43$ , también como omnívoro pero con preferencia por materia animal.

## 7.2 Isotopos estables<sup>oo</sup>

Los valores  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  fueron significativamente diferentes entre las tres especies de peces ( $P < 0.05$ ). En promedio, *K. azureus* presentó el mayor enriquecimiento de C ( $\delta^{13}\text{C} = -12.68 \text{‰}$ ) y el menor valor de N ( $\delta^{15}\text{N} = 16.91 \text{‰}$ ) (Tabla VII).

**Tabla VII.** Valores (promedio  $\pm$  ES) de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en tres especies de peces en Santa Rosalía, Baja California Sur, México.

Especie	N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
<i>Kyphosus azureus</i>	55	$-12.68 \pm 0.13\text{c}$	$16.91 \pm 0.12\text{a}$
<i>Stegastes rectifraenum</i>	53	$-15.13 \pm 0.16\text{b}$	$18.92 \pm 0.06\text{c}$
<i>Balistes polylepis</i>	42	$-16.95 \pm 0.10\text{a}$	$18.39 \pm 0.07\text{b}$

Letras minúsculas indican diferencias significativas.



### 7.2.1 *K. azureus*

En *K. azureus* no se encontraron diferencias significativas en los valores de C de los peces capturados en los tres sitios, independientemente de las fechas (Tabla VIII, Fig. 11). En peces capturados en la época de lluvias hubo un enriquecimiento de C significativamente mayor ( $\delta^{13}\text{C} = -12.40 \pm 0.11$ ), con respecto a los peces muestreados en secas, independientemente del sitio. Los valores  $\delta^{13}\text{C}$  presentaron diferencias significativas entre los sitios en relación con la época en que fueron capturados. En promedio, el menor enriquecimiento de C ( $\delta^{13}\text{C} = -13.86 \pm 0.43\text{‰}$ ) se encontró en peces de Las Cuevitas en la época de secas, siendo diferente al promedio de lluvias en el mismo sitio y al de los peces de Frailes en la época de secas (Tabla VIII). Los valores de N fueron significativamente mayores en peces provenientes de Punta Gorda ( $\delta^{15}\text{N} = 17.44 \pm 0.13$ ), independientemente de la época (Tabla VIII, Fig. 11); siendo mayores los valores de la época de secas ( $\delta^{15}\text{N} = 17.66 \pm 0.07$ ), independientemente de los sitios. Los valores de N fueron diferentes entre los peces de los tres sitios en relación a la fecha, siendo significativamente mayores en peces obtenidos en Punta Gorda durante la época de secas ( $\delta^{15}\text{N} = 17.95 \pm 0.08$ ), siendo diferente a los valores de los peces de los tres sitios en la época de lluvias (Tabla VIII).

**Tabla VIII.** Concentración (promedio  $\pm$  ES) de  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) y  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) en músculo de *K. azureus* en tres sitios en Santa Rosalía, de Baja California Sur, México.

	n	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
<b>Sitio</b>			
Punta Gorda	20	-12.95 $\pm$ 0.20	17.44 $\pm$ 0.13b
Las Cuevitas	15	-12.73 $\pm$ 0.30	16.72 $\pm$ 0.20a
Los Frailes	20	-12.38 $\pm$ 0.21	16.53 $\pm$ 0.23a
<b>Época</b>			
Secas	25	-13.02 $\pm$ 0.25a	17.66 $\pm$ 0.07b
Lluvias	30	-12.40 $\pm$ 0.11b	16.28 $\pm$ 0.13a
<b>Sitio x época</b>			
<b>Punta Gorda</b>			
Secas	10	-13.38 $\pm$ 0.29a	17.95 $\pm$ 0.08d
Lluvias	10	-12.51 $\pm$ 0.19ab	16.92 $\pm$ 0.08c
<b>Las Cuevitas</b>			
Secas	5	-13.86 $\pm$ 0.43a	17.52 $\pm$ 0.22cd
Lluvias	10	-12.16 $\pm$ 0.24b	16.31 $\pm$ 0.17b
<b>Los Frailes</b>			
Secas	10	-12.23 $\pm$ 0.40b	17.45 $\pm$ 0.07d
Lluvias	10	-12.53 $\pm$ 0.14ab	15.60 $\pm$ 0.15a

Los peces fueron capturados en secas (Mayo) y lluvias (Septiembre) de 2015. Letras minúsculas indican diferencias significativas de un ANOVA de dos vías, seguido de una prueba *post hoc* Tukey test,  $P < 0.05$ .

### 7.2.2 *S. rectifraenum*

En *S. rectifraenum* se encontraron diferencias significativas en los valores de C de los peces capturados en los tres sitios, independientemente de las fechas (Tabla IX, Fig. 11). En peces capturados en la época de lluvias hubo un enriquecimiento de C significativamente mayor ( $\delta^{13}\text{C} = -14.64 \pm 0.18$ ), con respecto a los peces muestreados en secas, independientemente del sitio. Los valores  $\delta^{13}\text{C}$  presentaron diferencias significativas entre los sitios en relación con la época en que fueron capturados. En promedio, el menor enriquecimiento de C ( $\delta^{13}\text{C} = -16.86 \pm 0.08$  ‰) se encontró en peces de Los Frailes en la época de secas, siendo diferente al resto de los peces (Tabla IX). En cuanto a los valores de N, éstos fueron significativamente mayores en peces provenientes de Las Cuevitas ( $\delta^{15}\text{N} = 19.28 \pm 0.09$ ), independientemente de la época (Tabla IX, Fig. 11); siendo mayores los valores de la época de lluvias ( $\delta^{15}\text{N} = 19.10 \pm 0.076$ ), independientemente de los sitios. Los valores de N fueron diferentes entre los peces de los tres sitios en relación a la fecha, siendo significativamente

mayores en peces muestreados en Las Cuevitas durante la época de lluvias ( $\delta^{15}\text{N} = 19.35 \pm 0.11$ ), siendo diferente a los valores de los peces de Punta Gorda en ambas épocas, y a los de Los Frailes en secas (Tabla IX).

**Tabla IX.** Concentración (promedio  $\pm$  ES) de  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) y  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) en músculo de *S. rectifraenum* en tres sitios en Santa Rosalía, de Baja California Sur, México.

	n	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
<b>Sitio</b>			
Punta Gorda	18	$-14.16 \pm 0.20\text{c}$	$18.68 \pm 0.10\text{a}$
Las Cuevitas	15	$-14.94 \pm 0.19\text{b}$	$19.28 \pm 0.09\text{b}$
Los Frailes	20	$-16.16 \pm 0.18\text{a}$	$18.87 \pm 0.06\text{a}$
<b>Época</b>			
Secas	23	$-15.78 \pm 0.23\text{a}$	$18.68 \pm 0.08\text{a}$
Lluvias	30	$-14.64 \pm 0.18\text{b}$	$19.10 \pm 0.06\text{b}$
<b>Sitio x época</b>			
<b>Punta Gorda</b>			
Secas	8	$-14.91 \pm 0.25\text{b}$	$18.41 \pm 0.13\text{a}$
Lluvias	10	$-13.55 \pm 0.07\text{c}$	$18.89 \pm 0.10\text{bc}$
<b>Las Cuevitas</b>			
Secas	5	$-15.00 \pm 0.26\text{b}$	$19.13 \pm 0.15\text{bcd}$
Lluvias	10	$-14.91 \pm 0.27\text{b}$	$19.35 \pm 0.11\text{d}$
<b>Los Frailes</b>			
Secas	10	$-16.86 \pm 0.08\text{a}$	$18.67 \pm 0.06\text{ab}$
Lluvias	10	$-15.46 \pm 0.16\text{b}$	$19.07 \pm 0.07\text{cd}$

Los peces fueron capturados en secas (Mayo) y lluvias (Septiembre) de 2015. Letras minúsculas indican diferencias significativas de un ANOVA de dos vías, seguido de una prueba *post hoc* Tukey test,  $P < 0.05$ .

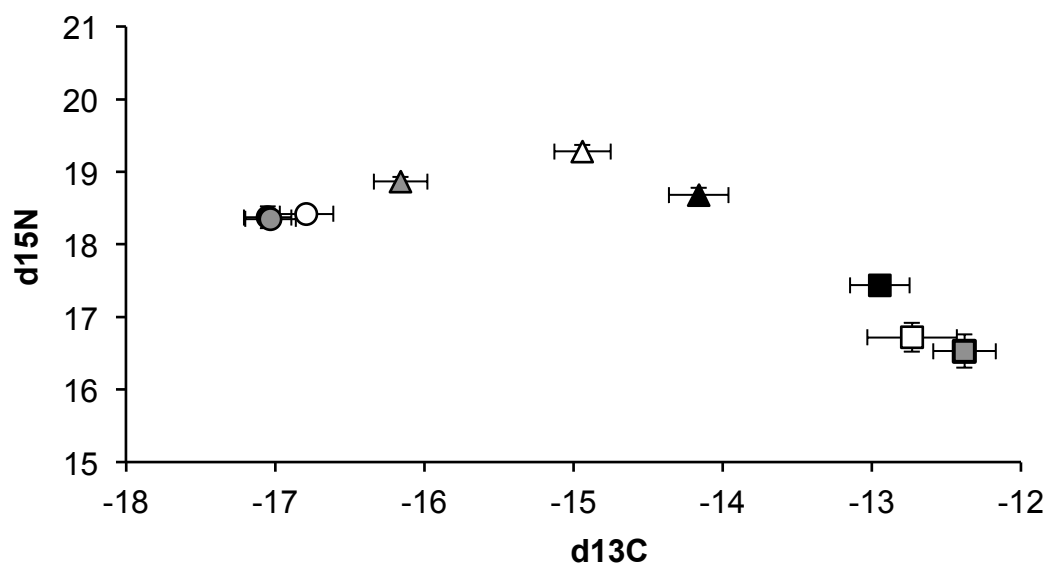
### 7.2.3 *B. polylepis*

En *B. polylepis* no se encontraron diferencias significativas entre los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) y  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) de los peces capturados en los tres sitios, independientemente de las épocas (Tabla X, Fig. 11); ni entre las épocas, independientemente de los sitios. Los valores  $\delta^{13}\text{C}$  no presentaron diferencias significativas entre los sitios en relación con la época en que fueron capturados, pero si los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰). En promedio, los valores de N fueron significativamente mayores en peces provenientes de Las Cuevitas durante la época de lluvias ( $\delta^{15}\text{N} = 18.65 \pm 0.17$ ), siendo diferentes a los valores de los peces capturados en el mismo sitio en época de secas (Tabla X).

**Tabla X.** Concentración (promedio  $\pm$  ES) de  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) y  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) en músculo de *B. polylepis* en tres sitios en Santa Rosalía, de Baja California Sur, México.

	n	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
Sitio			
Punta Gorda	16	$-16.79 \pm 0.18$	$18.42 \pm 0.09$
Las Cuevitas	16	$-17.05 \pm 0.16$	$18.37 \pm 0.15$
Los Frailes	10	$-17.03 \pm 0.17$	$18.35 \pm 0.10$
Época			
Secas	12	$-17.19 \pm 0.13$	$18.18 \pm 0.13$
Lluvias	30	$-16.85 \pm 0.13$	$18.46 \pm 0.08$
Sitio x época			
Punta Gorda			
Secas	6	$-17.02 \pm 0.20$	$18.44 \pm 0.18\text{ab}$
Lluvias	10	$-16.66 \pm 0.27$	$18.41 \pm 0.11\text{ab}$
Las Cuevitas			
Secas	6	$-17.36 \pm 0.16$	$17.91 \pm 0.13\text{a}$
Lluvias	10	$-16.87 \pm 0.22$	$18.65 \pm 0.17\text{b}$
Los Frailes			
Lluvias	10	$-17.03 \pm 0.17$	$18.35 \pm 0.10\text{ab}$

Los peces fueron capturados en secas (Mayo) y lluvias (Septiembre) de 2015. Letras minúsculas indican diferencias significativas de un ANOVA de dos vías, seguido de una prueba *post hoc* Tukey test,  $P < 0.05$ .



**Figura 11.** Valores isotópicos de peces. Cuadros, *K. azureus*; triángulos, *S. rectifraenum*; círculos, *B. polylepis*; negras, Punta Gorda; vacías, Las Cuevitas; color gris, Los Frailes.

### 7.3 Elementos traza

#### 7.3.1 *K. azureus*

Los peces de *K. azureus* capturados en Punta Gorda presentaron las concentraciones significativamente más bajas de Pb, Cu, Zn y Fe entre los tres sitios estudiados, mientras que las concentraciones más bajas de Cd se encontraron en peces provenientes de los Frailes. Las concentraciones de Cd y Pb no mostraron diferencias estadísticas entre épocas del año, sin embargo en secas se registraron las concentraciones significativamente más bajas de Cu, pero las más altas de Zn y Fe (Tabla XI).

Al evaluar la interacción entre el sitio y la época del año, se observa que no hay variaciones significativas en los niveles de Cd y que los niveles de Pb y Cu son significativamente más altos en lluvias en Las Cuevitas y Los Frailes, respectivamente. Las concentraciones más altas de Zn se registraron en peces de la época de secas en Los Frailes, mientras que los valores más altos de Fe se presentaron en la época de secas en los tres sitios (Tabla IX).

**Tabla XI.** Concentración (promedio  $\pm$  ES) de cadmio, plomo, cobre, zinc, y hierro ( $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco, media  $\pm$  error estándar) en músculo de *K. azureus* en tres sitios en Santa Rosalía, de Baja California Sur, México.

	n	Cd	Pb	Cu	Zn	Fe
Sitio						
Punta Gorda	14	0.28 $\pm$ 0.05b	0.05 $\pm$ 0.03a	0.64 $\pm$ 0.08a	26.17 $\pm$ 1.13a	17.57 $\pm$ 2.24a
Las Cuevitas	15	0.22 $\pm$ 0.07b	0.89 $\pm$ 0.36b	1.47 $\pm$ 0.35a	44.20 $\pm$ 2.37b	34.93 $\pm$ 6.00b
Los Frailes	14	0.06 $\pm$ 0.03ab	0.77 $\pm$ 0.25b	2.38 $\pm$ 0.35b	55.76 $\pm$ 6.70b	40.66 $\pm$ 6.45b
Época						
Secas	22	0.17 $\pm$ 0.05	0.57 $\pm$ 0.17	1.11 $\pm$ 0.24a	47.90 $\pm$ 5.27b	45.06 $\pm$ 4.63b
Lluvias	21	0.20 $\pm$ 0.04	0.59 $\pm$ 0.27	1.92 $\pm$ 0.30b	36.01 $\pm$ 1.86a	16.78 $\pm$ 1.93a
Sitio x época						
Punta Gorda						
Secas	7	0.29 $\pm$ 0.05	<0.02	0.82 $\pm$ 0.05abc	23.95 $\pm$ 0.80a	3.14 $\pm$ 1.78b
Lluvias	7	0.27 $\pm$ 0.08	0.08 $\pm$ 0.06a	0.48 $\pm$ 0.12a	28.39 $\pm$ 1.81ab	12.00 $\pm$ 2.88a
Las Cuevitas						
Secas	8	0.22 $\pm$ 0.10	0.22 $\pm$ 0.13a	0.67 $\pm$ 0.19ab	46.42 $\pm$ 3.33c	52.50 $\pm$ 5.92c
Lluvias	7	0.22 $\pm$ 0.09	1.66 $\pm$ 0.66b	2.38 $\pm$ 0.54cd	41.65 $\pm$ 3.34c	14.85 $\pm$ 2.69ab
Los Frailes						
Secas	7	<0.004	1.53 $\pm$ 0.28b	1.87 $\pm$ 0.63bcd	73.53 $\pm$ 9.19d	60.70 $\pm$ 7.34c
Lluvias	7	0.12 $\pm$ 0.05	<0.02	2.90 $\pm$ 0.22d	37.98 $\pm$ 2.13bc	23.48 $\pm$ 3.11b

Los peces fueron capturados en secas (Mayo) y lluvias (Septiembre) de 2015. Letras minúsculas indican diferencias significativas de un ANOVA de dos vías, seguido de una prueba *post hoc* Tukey test,  $P < 0.05$ .

### 7.3.2 *S. rectifraenum*

Las concentraciones de Cd, Cu, Zn y Fe en esta especie, no presentaron diferencias significativas entre los tres sitios ni por época del año (Tabla XII). La concentración de Pb mostró diferencias entre los sitios, encontrándose la mayor concentración en los peces de los Frailes, que fue 5 veces mayor que en Punta Gorda Cuevitas y hasta 12 veces mayor que Las Cuevitas. Los niveles de Cu no presentaron diferencias significativas entre sitios pero si entre épocas, siendo los valores encontrados en secas los más altos. La concentración de Pb y Cu varía en los peces dependiendo del sitio y la fecha de captura, las

mayores concentraciones se registraron en los Frailes en época de lluvias y en Las Cuevitas en la época de secas, respectivamente (Tabla XII).

**Tabla XII.** Concentración (promedio  $\pm$  ES) de cadmio, plomo, cobre, zinc, y fierro ( $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco, media  $\pm$  error estándar) en músculo de *S. rectifraenum* en tres sitios en Santa Rosalía, de Baja California Sur, México.

	n	Cd	Pb	Cu	Zn	Fe
Sitio						
Punta Gorda	14	0.25 $\pm$ 0.05	0.38 $\pm$ 0.16a	0.46 $\pm$ 0.14	21.78 $\pm$ 0.85	16.19 $\pm$ 2.38
Las Cuevitas	12	0.20 $\pm$ 0.03	0.17 $\pm$ 0.13a	0.56 $\pm$ 0.21	21.08 $\pm$ 0.75	14.46 $\pm$ 1.95
Los Frailes	14	0.27 $\pm$ 0.03	2.03 $\pm$ 0.47b	0.56 $\pm$ 0.18	20.70 $\pm$ 0.57	25.29 $\pm$ 6.23
Época						
Secas	19	0.20 $\pm$ 0.03	1.00 $\pm$ 0.31	1.05 $\pm$ 0.12b	20.97 $\pm$ 0.63	18.00 $\pm$ 2.63
Lluvias	21	0.27 $\pm$ 0.03	0.80 $\pm$ 0.31	0.05 $\pm$ 0.03a	21.39 $\pm$ 0.57	19.72 $\pm$ 4.14
Sitio x época						
Punta Gorda						
Secas	7	0.20 $\pm$ 0.07	0.70 $\pm$ 0.27abc	0.92 $\pm$ 0.11b	22.91 $\pm$ 1.20	18.54 $\pm$ 4.44
Lluvias	7	0.29 $\pm$ 0.07	0.05 $\pm$ 0.03a	<0.01	20.65 $\pm$ 1.13	14.18 $\pm$ 2.33
Las Cuevitas						
Secas	5	0.15 $\pm$ 0.05	0.07 $\pm$ 0.04abc	1.32 $\pm$ 0.16b	19.89 $\pm$ 0.99	9.51 $\pm$ 1.48
Lluvias	7	0.23 $\pm$ 0.04	0.25 $\pm$ 0.23 ab	<0.01	21.93 $\pm$ 1.01	18.00 $\pm$ 2.44
Los Frailes						
Secas	7	0.24 $\pm$ 0.05	1.98 $\pm$ 0.65bc	0.98 $\pm$ 0.27b	19.81 $\pm$ 0.62	23.60 $\pm$ 4.62
Lluvias	7	0.30 $\pm$ 0.05	2.09 $\pm$ 0.72c	0.14 $\pm$ 0.09a	21.60 $\pm$ 0.88	26.99 $\pm$ 12.07

Los peces fueron capturados en secas (Mayo) y lluvias (Septiembre) de 2015. Letras minúsculas indican diferencias significativas de un ANOVA de dos vías, seguido de una prueba *post hoc* Tukey test,  $P < 0.05$ .

### 7.3.3 *B. polylepis*

Esta especie fue la única que no fue encontrada durante la época de secas en Los Frailes. Entre sitios, esta especie presentó las concentraciones significativamente más bajas de Cd y Pb en peces de Los Frailes, mientras que las de Cu y Zn lo fueron de peces de Punta Gorda. Las concentraciones de Fe fueron similares en los peces de los tres sitios (Tabla XIII). Cd y Cu no presentaron diferencias significativas con respecto a las épocas, pero en el caso de Pb

y Fe se observó que las concentraciones más altas fueron en peces colectados en secas, mientras que las más elevadas de Zn se obtuvieron en los organismos encontrados en lluvias.

Al analizar las concentraciones considerando la interacción entre el sitio y la época, se observó que las concentraciones más bajas de Cd y Cu pero las más altas de Pb se registraron en organismos capturados en secas en Punta Gorda. Con respecto a Zn los valores más altos fueron en organismos encontrados en lluvias tanto de Las Cuevitas como de Los Frailes. Los niveles más bajos de Fe fueron los registrados en muestras de lluvias de Cuevitas pero únicamente fueron significativamente diferentes a los registrados para esta misma localidad y Punta Gorda en secas.

**Tabla XIII.** Concentración (promedio  $\pm$  ES) de cadmio, plomo, cobre, zinc, y fierro ( $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco, media  $\pm$  error estándar) en músculo de *B. polylepis* en tres sitios en Santa Rosalía, de Baja California Sur, México.

	n	Cd	Pb	Cu	Zn	Fe
Sitio						
Punta Gorda	13	0.14 $\pm$ 0.05a	1.45 $\pm$ 0.52b	0.42 $\pm$ 0.15a	49.89 $\pm$ 4.58a	28.85 $\pm$ 4.14
Las Cuevitas	13	0.30 $\pm$ 0.05b	0.77 $\pm$ 0.33bc	1.01 $\pm$ 0.16bc	90.99 $\pm$ 17.11b	27.49 $\pm$ 5.27
Los Frailes	7	0.06 $\pm$ 0.03a	0.05 $\pm$ 0.03ac	0.47 $\pm$ 0.08ac	100.71 $\pm$ 25.29b	27.22 $\pm$ 5.49
Época						
Secas	12	0.14 $\pm$ 0.05	1.91 $\pm$ 0.56b	0.63 $\pm$ 0.23	41.55 $\pm$ 3.00a	39.16 $\pm$ 3.86b
Lluvias	21	0.21 $\pm$ 0.04	0.30 $\pm$ 0.14a	0.64 $\pm$ 0.09	99.33 $\pm$ 12.87b	21.57 $\pm$ 3.07a
Sitio x época						
Punta Gorda						
Secas	6	<0.005	2.98 $\pm$ 0.73b	0.06 $\pm$ 0.06a	40.05 $\pm$ 6.12a	37.69 $\pm$ 1.63a
Lluvias	7	0.25 $\pm$ 0.07ab	0.14 $\pm$ 0.08a	0.72 $\pm$ 0.21bc	59.73 $\pm$ 3.99ac	21.27 $\pm$ 6.40ab
Las Cuevitas						
Secas	6	0.28 $\pm$ 0.06ab	0.84 $\pm$ 0.61a	1.30 $\pm$ 0.25b	43.05 $\pm$ 1.11a	40.64 $\pm$ 7.88a
Lluvias	7	0.31 $\pm$ 0.08b	0.70 $\pm$ 0.38a	0.76 $\pm$ 0.17bc	132.08 $\pm$ 21.84b	16.21 $\pm$ 3.59b
Los Frailes						
Lluvias	7	0.06 $\pm$ 0.03a	0.05 $\pm$ 0.03a	0.47 $\pm$ 0.08ac	100.71 $\pm$ 25.29bc	27.22 $\pm$ 5.49ab

Los peces fueron capturados en secas (Mayo) y lluvias (Septiembre) de 2015. Letras minúsculas indican diferencias significativas de un ANOVA de dos vías, seguido de una prueba *post hoc* Tukey test,  $P < 0.05$ .



#### 7.3.4 Concentraciones de elementos traza en especies en relación al sitio

En general, el rango de concentraciones de Cd, Pb y Fe registrado en las tres especies de peces fue similar entre los tres sitios, mientras que en Cu y Zn, el rango de valores fue significativamente menor en Punta Gorda (Tabla XIV). Las concentraciones de Cd y Pb no presentaron diferencias significativas entre las especies de estudio. Por lo que respecta a Cu, la mayor concentración se presentó en *K. azureus*, mientras que los organismos de *B. polylepis* presentaron las mayores concentraciones de Zn. Los peces de *S. rectifraenum* tuvieron las menores concentraciones de Fe (Tabla XIV). La concentración de los cinco elementos varió significativamente entre los peces de las tres especies en relación al sitio. En general, en Los Frailes se presentaron las mayores concentraciones de Pb en *S. rectifraenum*, de Cu y Fe en *K. azureus* y de Zn en *B. polylepis*, así como las concentraciones más bajas de Cd en *K. azureus* (Tabla XIV).

**Tabla XIV.** Concentración (promedio  $\pm$  ES) de cadmio, plomo, cobre, zinc, y hierro ( $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco, media  $\pm$  error estándar) en músculo de peces en tres sitios en Santa Rosalía, de Baja California Sur, México.

	n	Cd	Pb	Cu	Zn	Fe
Sitio						
Punta Gorda	41	0.22 $\pm$ 0.03	0.61 $\pm$ 0.19	0.51 $\pm$ 0.07a	31.75 $\pm$ 2.39a	20.79 $\pm$ 1.92
Las Cuevitas	40	0.24 $\pm$ 0.03	0.63 $\pm$ 0.18	1.05 $\pm$ 0.17b	52.47 $\pm$ 7.12b	26.37 $\pm$ 3.12
Los Frailes	35	0.14 $\pm$ 0.03	1.13 $\pm$ 0.25	1.27 $\pm$ 0.22b	49.26 $\pm$ 7.02b	31.57 $\pm$ 3.84
Especie						
<i>K. azureus</i>	43	0.19 $\pm$ 0.03	0.58 $\pm$ 0.16	1.52 $\pm$ 0.20b	42.09 $\pm$ 2.96b	30.92 $\pm$ 3.3b
<i>S. rectifraenum</i>	40	0.24 $\pm$ 0.02	0.89 $\pm$ 0.22	0.53 $\pm$ 0.10a	21.19 $\pm$ 0.42a	18.93 $\pm$ 2.51a
<i>B. polylepis</i>	33	0.19 $\pm$ 0.03	0.88 $\pm$ 0.26	0.64 $\pm$ 0.10a	76.96 $\pm$ 9.41c	27.97 $\pm$ 2.80b
Sitio x especie						
Punta Gorda						
<i>K. azureus</i>	14	0.28 $\pm$ 0.05b	0.05 $\pm$ 0.03a	0.64 $\pm$ 0.08ab	26.17 $\pm$ 1.13a	17.57 $\pm$ 2.24ab
<i>S. rectifraenum</i>	15	0.25 $\pm$ 0.05ab	0.38 $\pm$ 0.16ab	0.46 $\pm$ 0.14a	21.78 $\pm$ 0.85a	16.19 $\pm$ 2.38a
<i>B. polylepis</i>	14	0.14 $\pm$ 0.05ab	1.45 $\pm$ 0.52bc	0.42 $\pm$ 0.15a	49.89 $\pm$ 4.58bc	28.85 $\pm$ 4.14ab
Las Cuevitas						
<i>K. azureus</i>	14	0.22 $\pm$ 0.07ab	0.89 $\pm$ 0.36abc	1.47 $\pm$ 0.35bc	44.20 $\pm$ 2.37b	34.93 $\pm$ 6.00ab
<i>S. rectifraenum</i>	12	0.20 $\pm$ 0.03ab	0.17 $\pm$ 0.13ab	0.56 $\pm$ 0.21ab	21.08 $\pm$ 0.75a	14.46 $\pm$ 1.95a
<i>B. polylepis</i>	14	0.30 $\pm$ 0.05b	0.77 $\pm$ 0.33abc	1.01 $\pm$ 0.16abc	90.99 $\pm$ 17.11d	27.49 $\pm$ 5.27ab
Los Frailes						
<i>K. azureus</i>	13	0.06 $\pm$ 0.03a	0.77 $\pm$ 0.25abc	2.38 $\pm$ 0.35c	55.76 $\pm$ 6.70bcd	40.66 $\pm$ 6.45b
<i>S. rectifraenum</i>	13	0.27 $\pm$ 0.03b	2.03 $\pm$ 0.47c	0.56 $\pm$ 0.18ab	20.70 $\pm$ 0.57a	25.29 $\pm$ 6.23ab
<i>B. polylepis</i>	7	0.06 $\pm$ 0.03ab	0.05 $\pm$ 0.03ab	0.47 $\pm$ 0.08ab	100.71 $\pm$ 25.29cd	27.22 $\pm$ 5.49ab

Letras minúsculas indican diferencias significativas de un ANOVA de dos vías, seguido de una prueba *post hoc* Tukey test,  $P < 0.05$ .

## 8. DISCUSIÓN

### 8.1 Dieta de los peces

Los peces *K. azureus*, *S. rectifraenum* y *B. polylepis* presentan diferencias en los componentes y/o presas que consumen en el área de Santa Rosalía, Baja California Sur. La especie *K. azureus* mostró una dieta, principalmente herbívora, conformada por 43 componentes o presas. El número de presas identificadas es similar al reportado para *K. sectatrix*, la cual consumió 58 especies, en el Caribe (Randall, 1967). Sin embargo, al comparar con otras especies, se observa que *K. azureus* en el Golfo de California consume el doble y hasta el triple de las presas reportadas en estudios realizados en Nueva Zelanda y Australia para *K. sydneyanus* y *K. vaigiensis*, respectivamente (Russell, 1983; Clements y Choat, 1997). Trabajos enfocados en diversas especies de peces pertenecientes a la familia Kyphosidae, las han reportado como especies herbívoras, pero que presentan diferencias en el tipo de macroalgas que consumen (Tabla I, Randall 1967; Russell, 1983; Clements y Choat 1997; Sturm y Horn, 1998).

Algunos estudios sobre la dieta de *K. azureus* indican preferencias alimenticias sobre las macroalgas pardas, entre ellas del género *Carpophyllum*, *Dyctiota* y *Sargassum* (Russell, 1983; Clements y Choat 1997). En contraste, hay registros realizados en organismos del Golfo de California que indican que la dieta de *K. azureus* (= *Hermosilla azurea*, Knudsen y Clements, 2013) está basada principalmente en macroalgas rojas (Sturm y Horn, 1998). En el presente estudio se encontró que *K. azureus* se alimenta principalmente de macroalgas rojas (IIREP= 62%), porcentaje similar a lo reportado por algunos autores que encontraron mayores cantidades de macroalgas rojas en peces pertenecientes a la familia Kyphosidae (Randall, 1967; Sturm y Horn, 1998). Entre las principales especies de macroalgas rojas presentes en los contenidos estomacales de peces de Santa Rosalía se identificaron a los géneros *Gracilaria*, *Gelidium*, *Prionitis* y *Chondracanthus*. Algunos autores proponen que las diferencias encontradas en la dieta de los peces herbívoros se basan en la selectividad de alimento con base en las demandas energéticas que les proporcionan las diferentes tipos de macroalgas (Lobel y Ogden, 1981). Sin embargo, otros autores proponen que la

selectividad de alimento está dada principalmente por las capacidades digestivas de los peces, por ejemplo, la presencia de enzimas digestivas distintas entre los peces y/o por las adaptaciones en el aparato digestivo y no por el contenido energético o nutricional de las macroalgas (Montgomery, 1980; Cáceres-Morales y Ojeda, 2000).

*Stegastes rectifraenum* se ha reportado como una especie de hábitos tanto herbívoros (Hobson, 1965; Allen y Robertson, 1994) como omnívoros; (Montgomery, 1980; Aguilar-Medrano *et al.*, 2011; Moreno-Sánchez *et al.*, 2011). Nuestros resultados mostraron que *S. rectifraenum* presenta una dieta omnívora, con un total de 41 componentes alimenticios. Este número de presas es casi el doble a las reportadas por Moreno-Sánchez *et al.* (2011) para la especie *S. rectifraenum* en el Golfo de California. Los principales componentes de la dieta según el %IIREP son las macroalgas rojas (56%), seguidas del detritus (17%) y presas animales como huevos de peces (5%), hidrozoarios (4%) y tunicados (3%), entre otros. Moreno-Sánchez *et al.* (2011), quien realizó una descripción de la dieta de *S. rectifraenum* en el arrecife de Los Frailes, en el Golfo de California, los principales componentes de la dieta fueron copépodos bentónicos, macroalgas y pequeños moluscos de acuerdo al %IRI, y la mayoría de las especies de macroalgas coincidieron a las encontradas en este trabajo, por ejemplo las pertenecientes a los géneros *Ulva*, *Bryopsis* y *Ectocarpus*.

El Cochito, *Balistes polylepis*, mostró una dieta omnívora en la que los principales componentes de la dieta fueron invertebrados (%IIREP = 76.8%); estos datos coinciden a los reportados por varios autores para *B. polylepis* en Golfo de California (Hobson, 1965; Abita *et al.*, 1990), el Caribe (Randall, 1967) y Galápagos (Humann y Deloach, 1993). En nuestro estudio, el número de presas reconocidas en los estómagos de *B. polylepis* en los sitios de Sata Rosalía fue de 26, el cual es casi 3 veces mayor al número reportado en el Caribe por Randall (1967). Entre los componentes se encuentran 17 especies de invertebrados, 8 especies de macroalgas y detritus. El principal componente de la dieta de *B. polylepis*, según el %IIREP, son moluscos (60%), seguidos del detritus (7%), especies de macroalgas como *Amphiroa* (7%) y *Sargassum* (5%), por último algunos invertebrados como tunicados (5%), bryozoario (4%) y crustáceos (3%). Estos resultados coinciden con los trabajos realizados en el Caribe, que reportan para *B. polylepis* dietas de omnívoro o

carnívoro, ya que a pesar de que los principales componentes alimenticios sea organismos invertebrados o peces, también se han encontrado macroalgas en su dieta (Randall, 1967). Otros trabajos en el Golfo de California reportan para *B. polylepis* una dieta totalmente carnívora, compuesta por crustaceos y moluscos principalmente (Hobson, 1965; Abita *et al.*, 1990; Humann y Deloach, 1993).

Los niveles tróficos a partir de la dieta estimados por el programa TrophLab se ordenan desde los productores primarios y detritus (nivel trófico = 1) hasta los depredadores tope (nivel trófico 5). La especie *K. azureus* presentó un nivel trófico de 2.00, el cual corresponde principalmente a una dieta herbívora; *S. rectifraenum* con un nivel trófico de 2.11, la señala como especie omnívora con preferencias por material vegetal, mientras que *B. polylepis* se identificó como una especie omnívora con preferencia por materia animal, con un nivel trófico de  $3.24 \pm 0.43$ .

## 8.2 Isotopos estables

La especie *K. azureus* presentó el mayor enriquecimiento de  $\delta^{13}\text{C}$  con respecto al resto de las especies, con un promedio de  $\delta^{13}\text{C} = -12.68 \pm 0.82\text{‰}$ . Estos valores son mayores a los reportados para otras especies de peces herbívoras de arrecifes rocosos en Australia y el Mediterráneo con  $\delta^{13}\text{C} = -18.5$  a  $-17.5$  y  $-16.1$  a  $-19.2\text{‰}$ , respectivamente (Jennings *et al.*, 1997; Gaston y Suthers, 2004). Estas diferencias están asociadas a las fuentes de carbono provenientes del alimento (Croteau *et al.*, 2005; Aguilar-Castro *et al.*, 2003). La posición trófica de *K. azureus* deducida de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  coloca a esta especie en el nivel trófico más bajo entre las especies de peces estudiadas, con valores de  $\delta^{15}\text{N} = 16.90 \pm 0.36\text{‰}$ . Estos valores son similares a los reportados para peces herbívoros de arrecifes rocosos en Australia, con valores de  $\delta^{15}\text{N} = 14\text{‰}$  (Gaston y Suthers, 2004), pero mayores a los reportados para los peces del Mediterráneo ( $\delta^{15}\text{N} = 8.4$  a  $13.8\text{‰}$ ) (Jennings *et al.*, 1997).

*S. rectifraenum* presentó un promedio de  $\delta^{13}\text{C} = -15.13 \pm 0.25\text{‰}$ , colocándola en la segunda posición en cuanto al enriquecimiento del C respecto al resto de las especies. Estos valores son similares a los reportados para peces de arrecife rocoso por Jennings *et al.* (1997) en el Mediterraneo ( $\delta^{13}\text{C} = -16.1\text{‰}$ ). Sin embargo, los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  fueron los

valores más altos entre las 3 especies con un promedio  $\delta^{15}\text{N} = 18.91 \pm 0.29\text{‰}$ . Estos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  son cercanos a los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de *B. polylepis*. El análisis de la dieta de *S. rectifraenum* presentó una dieta de hábitos omnívoros, donde se registró una alta incidencia de macroalgas, sin embargo, esta especie puede ser un depredador de los organismos adheridos o asociados a las macroalgas (Montgomery, 1980). En ese sentido la ingesta de organismos epífitos como tunicados, esponjas, hidrozoarios y otros organismos invertebrados podría haber contribuido en el incremento de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y por lo tanto elevar el nivel trófico de *S. rectifraenum*. Los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de *S. rectifraenum* en el presente estudio se asemejan a los reportados por Thomas y Cahoon (1993), para otros peces de arrecife rocoso con valores de  $\delta^{15}\text{N} = 18.7\text{‰}$ .

*B. polylepis* presentó el menor enriquecimiento de  $\delta^{13}\text{C}$  entre las tres especies con un promedio de  $\delta^{13}\text{C} = -16.94 \pm 0.59\text{‰}$  (Tabla XIII). Estos valores se encuentran por debajo de los reportados por otros autores, que reportan señales isotópicas de  $\delta^{13}\text{C} = -18.5\text{‰}$  (Thomas y Cahoon, 1993; Gaston y Suthers, 2004). Este menor enriquecimiento de carbono que se observa en *B. polylepis*, puede explicarse por los hábitos carnívoros que presenta la especie. Por lo tanto, podría estar adquiriendo el carbono de sus presas a diferencia de las otras especies que toman el carbono directamente de las macroalgas (Croteau *et al.*, 2005; Aguilar-Castro *et al.*, 2003). El  $\delta^{15}\text{N}$  en *B. polylepis* mostró en promedio  $\delta^{15}\text{N} = 18.38 \pm 0.39\text{‰}$ , que es un valor muy cercano al de *S. rectifraenum*, lo que ubica ambas especies en niveles tróficos similares según el análisis isotópico.

### 8.3 Concentración de elementos traza

Los elementos traza como Cd, Pb, Cu, Zn y Fe cuando están por arriba de las concentraciones consideradas como requeridas por los organismos para realizar sus funciones metabólicas se convierten en contaminantes cuya detección oportuna es de alta prioridad al poder representar un peligro para la salud de los ecosistemas marinos (Gray, 2002; Rainbow, 2002). Algunos estudios sobre el poblado de Santa Rosalía han reportado altas concentraciones de estos elementos traza en el ambiente, por ejemplo, Cu (1953 ppm), Pb (1618 ppm) y Zn (3367 ppm) (Shumilin *et al.*, 2000); algunos de estos valores superan

con hasta dos órdenes de magnitud a las concentraciones registradas en otros estudios, como son las concentraciones de Cu en la laguna Salada en Veracruz, México ( $50-70 \mu\text{g g}^{-1}$ ) (Villanueva y Botello, 1998), o para sedimentos muy contaminados por zonas industrializadas ( $81 \mu\text{g g}^{-1}$  en golden Horn Bay, Rusia). Estas altas concentraciones de elementos traza han generado interrogantes sobre la dinámica que pueden seguir una vez que son incorporados a la trama trófica (Escadón, 1995; Shumilin *et al.*, 2000).

En este trabajo se encontró que las concentraciones de Cd registradas en ejemplares de *K. azureus* ( $<0.009-0.68 \mu\text{g g}^{-1}$ ), *S. rectifraenum* ( $<0.009-0.52 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y *B. polylepis* ( $<0.009-0.63 \mu\text{g g}^{-1}$ ), varían tanto entre especies como entre sitios (Tabla XIV). Los niveles promedio de Cd se encuentran por debajo del límite máximo permisible en la norma oficial mexicana (NOM) para peces de  $0.5 \mu\text{g g}^{-1}$  (peso fresco, NOM-242-SSA1-2009). Sin embargo, los resultados en las concentraciones de Cd en algunos de los peces superan a las reportadas para otras especies de peces reportadas para el Golfo de California en diferentes estudios (Ruelas-Inzunza *et al.*, 2010; Frías-Espericueta *et al.*, 2010) (Tabla II). Las mayores concentraciones se presentaron en la especie *B. polylepis* ( $0.30 \pm 0.06 \mu\text{g g}^{-1}$ ) en Las Cuevitas. Las concentraciones de Cd presentaron el siguiente patrón entre las especies de peces *B. polylepis* > *K. azureus* > *S. rectifraenum* y entre los sitios Las Cuevitas > Punta Gorda > Los Frailes.

La concentración de Pb en algunos ejemplares de *K. azureus* ( $0.02-4.61 \mu\text{g g}^{-1}$ ), *S. rectifraenum* ( $0.02-5.56 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y *B. polylepis* ( $0.02-5.78 \mu\text{g g}^{-1}$ ) colectados en Punta Gorda, Las Cuevitas y Los Frailes, superan los límites permisibles de  $1 \mu\text{g g}^{-1}$  (NOM-242-SSA1-2009). Para los organismos colectados de *K. azureus* en época de lluvias en Las Cuevitas el 14% de los peces colectados superan los límites permisibles, mientras que para los ejemplares *S. rectifraenum* y *B. polylepis* superan esta norma en Los Frailes y Punta Gorda, respectivamente, con un 30% de representatividad. Estas altas concentraciones encontradas superan a las reportadas en otros estudios de peces (Izaguirre-Fierro *et al.*, 1992; Ruelas-Inzunza y Páez-Osuna 2008; Frías-Espericueta, 2010). Las concentraciones de Pb entre las especies presentaron el siguiente patrón *K. azureus* > *B. Polylepis* > *S. rectifraenum*, mientras que para los sitios presentó un patrón ascendente de norte a sur Punta Gorda < Las Cuevitas < Los Frailes.

La concentración de Cu de las especies *K. azureus* (0.005-5.188  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), *S. rectifraenum* (0.005-1.019  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) y *B. polylepis* (0.005-2.166  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) registró variabilidad entre los diferentes sitios. Las mayores concentraciones de Cu en el presente estudio las presentó la especie *K. azureus*>*B. polylepis*>*S. rectifraenum*, estas concentraciones se asemejan a las reportadas para otras especies de peces en el Golfo de California, que reportan valores de Cu >1  $\mu\text{g g}^{-1}$  (Sivaperumal *et al.*, 2007; Ruelas-Inzunza *et al.*, 2010). La magnitud de las concentraciones de Cu entre las tres especies de peces varió de la siguiente manera: *K. azureus*>*B. polylepis*>*S. rectifraenum*, mientras que entre sitios fue: Los Frailes>Las Cuevitas>Punta Gorda.

La especie *B. polylepis* presentó las concentraciones más elevadas de Zn. En Los Frailes tanto en épocas secas como de lluvias aproximadamente el 55% de los organismos superan los límites máximos recomendables de concentración de 30  $\mu\text{g g}^{-1}$  (NOM-242-SSA1-2009). Las concentraciones de Zn presentaron el siguiente patrón *B. polylepis*>*K. azureus*>*S. rectifraenum*, mientras que en los sitios Las Cuevitas>Los Frailes>Punta Gorda. Las concentraciones de Zn presentaron entre las especies el siguiente patrón: *K. azureus*>*B. polylepis*>*S. rectifraenum*, mientras que entre sitios: Los Frailes>Las Cuevitas>Punta Gorda.

En cuanto a la concentración de elementos traza en los peces, encontramos que no se presenta un patrón que determine qué nivel trófico de los peces presenta mayores concentraciones, ya que cada elemento traza se comporta distinto entre las especies. Las concentraciones de Pb, Cu y Fe en Punta Gorda, Las Cuevitas y Los Frailes presentan una tendencia decreciente de norte a sur entre los sitios: Punta Gorda<Cuevitas<Frailes, y este fenómeno puede estar asociado posiblemente al transporte de los elementos por las corrientes (Álvarez-Borrego, 2002). El sitio con influencia de actividad minera, Las Cuevitas presentó ligeramente mayores concentraciones de Cd y Zn. La dinámica de los elementos traza sigue siendo un tema de debate. Nuestros resultados indican que cada elemento se comporta de manera distinta tanto entre especies de diferentes niveles tróficos como entre los sitios de estudio.



## 9. CONCLUSIONES

Del estudio de los principales componentes de la dieta de los peces *K. azureus*, *S. rectifraenum* y *B. polylepis* se encontró que: *K. azureus* es de hábitos herbívoros en todos los sitios y estaciones constituida principalmente por macroalgas rojas; *S. rectifraenum* mostró una dieta constituida principalmente de macroalgas rojas, detritus y pequeños organismos invertebrados, y la especie *B. polylepis* presentó una dieta constituida principalmente de moluscos.

A partir del análisis de la dieta se estableció el nivel trófico de los peces, encontrándose que *K. azureus* presentó un nivel trófico de 2.00, el cual corresponde a una dieta herbívora. *S. rectifraenum* y *B. polylepis* tuvieron un nivel trófico de 2.11 y 3.24, respectivamente. Ambos valores corresponden a una dieta omnívora, pero con preferencias por material vegetal y de origen animal, respectivamente.

Las señales isotópicas indican que las tres especies de peces presentan valores distintos de  $\delta^{13}\text{C}$ , lo que indica distintas fuentes de C para cada especie. El enriquecimiento de C se presentó en este orden: *K. azureus*>*S. rectifraenum*>*B. polylepis*. El análisis de los isótopos de Nitrógeno presentó valores distintos de  $\delta^{15}\text{N}$  entre las especies. *S. rectifraenum* y *B. polylepis* presentaron valores similares entre ellos, sin embargo, estos fueron superiores a los de *K. azureus*.

Las concentraciones de Cd, Pb, Cu, Zn y Fe en los peces no presentan un patrón que determine que nivel trófico presenta mayores concentraciones, ya que cada elemento se comporta de manera distinta entre las especies. Sin embargo, las concentraciones de Pb, Cu y Fe en Punta Gorda, Las Cuevitas y Los Frailes presentaron una tendencia decreciente de de norte a sur entre los sitios: Punta Gorda<Cuevitas<Frailes. Estos resultados indican que los elementos se comportan de manera distinta tanto entre especies de diferentes niveles tróficos, así como entre los sitios de estudio.

## 10. LITERATURA CITADA

Abita-Cárdenas, L. A., J. Rodríguez-Romero, F. Galván-Magaña. 1990. Observaciones tróficas de tres especies de peces de importancia comercial de Bahía Concepción, Baja California Sur, México. *Inv Mar. CICIMAR*. 5:1-7.

Aguilar-Castro, N. 2003. Ecología trófica de juveniles del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) en el Golfo de California. Tesis (Maestría en Manejo de Recursos Marinos). La Paz B.C.S. CICIMAR. 98 p.

Aguilar-Medrano, R., B. Frédérick, E. De Luna, E. F. Balart. 2011. Patterns of morphological evolution of the cephalic region in damselfishes (Perciformes: Pomacentridae) of the Eastern Pacific. *Biol. J. Linnean. Soc.* 102:593-613.

Alarcón-Corredor, O. M. 2009. Los elementos traza. *Revista Medica de la Extension Portuguesa*, 4:107-124.

Allen, G. R., D. R. Robertson. 1994. Peces del Pacifico Oriental Tropical. Mexico: Comision Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Agrupación Sierra Madre S.C. y CEMEX, S.A. México, D.F. 327 p.

Álvarez-Borrego, S. 2002. Physical oceanography. En: Case, T. J., M. L. Cody y E. Ezcurra (eds.). *Island Biogeography of the Sea of Cortés*. Oxford Univ. Press. Oxford. pp. 41-59.

Amiard, J. C., C. Amiard-Triquet, C. Metayer, J. Marchand, R. Ferre. 1980. Study on the transfer of Cd, Pb, Cu and Zn in neritic and estuarine trophic chains. 1. The inner estuary of the Loire (France) in the summer of 1978. *Water Resources*, 14: 665-673.

Barwick, M., W. Maher. 2003. Biotransference and biomagnification of selenium, copper, cadmium, zinc, arsenic and lead in a temperate seagrass ecosystem from Lake Macquarie Estuary, NSW, Australia. *Mar. Environ. Res.* 56:471-502.

Barrera-García A., T O'Hara, F. Galván-Magaña, L. C. Méndez-Rodríguez, J. M. Castellini, T. Zenteno-Savín. 2013. Trace elements and oxidative stress indicators in the liver and kidney of the blue shark (*Prionace glauca*). *Comp. Biochem. Physiol. A. Mol. Integr.* 165: 483-490.

Ben-David, M., E. A. Flaherty. 2012. Stable isotopes in mammalian research: a beginner's guide. *J. Mammal.* 93:312-328.

Brown, S. C., J. J. Bizzarro, G. M. Cailliet, D. A. Ebert. 2012. Breaking with tradition: redefining measures for diet description with a case study of the Aleutian skate *Bathyraja aleutica* (Gilbert 1896). *Environ. Biol. Fishes.* 95:3-20.

Brusca, R. C. 1980. Common Intertidal Invertebrates of the Gulf of California. Second Edition. Univ. Arizona Press. Tucson, AZ. 513 p.

Brusca, R. C., D. A. Thomson. 1975. Pulmo Reef: the only "coral reef" in the Gulf of California. *Cienc. Mar.* 1:37-53.

Busquets-Vass, G. R. 2008. Variabilidad de isótopos estables de nitrógeno y carbono en piel de ballena azul (*Balaenoptera musculus*). Tesis (Maestría en Manejo de Recursos Marinos). La Paz, B.C.S. CICIMAR. 84 p.

Cáceres-Morales, C. W., F. P. Ojeda. 2000. Patrones de forrajeo en dos especies de peces intermareales herbívoros de las costas de Chile: Efecto de la abundancia y la composición química del alimento. *Revista Chilena de Historia Natural.* 73:253-260.

Cailliet, G. M., M. S. Love, A. W. Ebeling. 1986. Fishes: A field and laboratory manual on their structure identification and natural history. Waveland Press, Inc. 194p.

Choumiline, E., L. Méndez Rodríguez, O. Morton-Bermea, G. Rodríguez Meza, G. Rodríguez Figueroa, I. Sánchez Rodríguez, B. Acosta Vargas. 2006. Biogeochemical evaluation of the heavy metals in the marine environment of the Santa Rosalia mining district (B.C.S.). Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Mexico. Reporte técnico final del proyecto SEMARNAT-CONACYT C01-1425. La Paz, B.C.S. 132 p.

Clements, K. D., J. H. Choat. 1997. Comparison of herbivory in the closely-related marine fish genera *Girella* and *Kyphosus*. *Mar. Biol.* 127:579-586.

Coale, K. H. 1991. Effects of iron, manganese, copper, and zinc enrichments on productivity and biomass in the subarctic Pacific. *Limnol. Oceanogr.* 36:1851-1864.

Colwell R. K., J. A. Coddington. 1994. Estimating terrestrial bioiversity through extrapolation. *Fil. Trans. Biol. Science.* 345:101-118.

Connell, D. W. 1997. Bioaccumulation of chemicals by aquatic organisms. En: Schüürmann, G., B. Markert. *Ecotoxicology: Ecological fundamentals, chemical exposure and biological effects.* John Wiley & Sons, Inc. pp 439-450.

Corder, G. W., D. I. Foreman. 2009. Nonparametric statistics for non-statisticians: a step-by step approach. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey. 247p.

Croteau, M. N., S. N. Luoma, A. R. Stewart. 2005. Trophic transfer of metals along freshwater food webs: Evidence of cadmium biomagnification in nature. *Limol. Oceanogr.* 50:1511-1519.

Escadón, V. F. 1995. Génesis de los yacimientos polimetálicos del Boleo, Santa Rosalía, Baja California sur. Academia Mexicana de Ingeniería. México. 41p.

Foster, M. S., L. M. McConnico, L. Lundsten, T. Wadsworth, T. Kimball, L. B. Brooks, M. Medina-López, R. Riosmena-Rodríguez, G. Hernández-Carmona, R. M. Vásquez-Elizondo, S. Johnson, D. L. Steller. 2007. Diversity and natural history of a *Lithothamnion muelleri*-*Sargassum horridum* community in the Gulf of California. *Cienc. Mar.* 33:367-384.

Fraústo da Silva, J. J. R., R. J. P. Williams. 1991. The Biological Chemistry of the Elements. The Inorganic Chemistry of Life. Clarendon Press. 1st Edition. Oxford, UK. 561p.

Frías-Espericueta, M. G., J. M. Quintero-Álvarez, J. I. Osuna-López, C. M. Sánchez-Gaxiola, G. López-López, G. Izaguirre-Fierro, D. Voltolina 2010. The metal contents of four commercial fish species of NW Mexico. *Bull. Env. Cont. Toxicol.* 85:334-338.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köepen. Serie Libros Núm. 6. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Quinta Edición. México, D.F. 98p.

Gaston, T. F., I. M. Suthers. 2004. Spatial variation in  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of liver, muscle and bone in a rocky reef planktivorous fish: the relative contribution of sewage. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 303:17-33.

Giordano, R., P. Arata, L. Ciaralli, S. Rinaldi, M. Giani, A. M. Cicero, S. Costantini. 1991. Heavy metals in mussels and fish from Italian coastal waters. *Mar. Pollut. Bull.* 22:10-14.

Gray, J. S. 2002. Biomagnification in marine systems: the perspective of an ecologist. *Mar. Pollut. Bull.* 45:46-52.

Hernández-Almaraz, P., L. Méndez-Rodríguez, T. Zenteno-Savín, F. García-Domínguez, A. Vázquez-Botello, E. Serviere-Zaragoza. 2014. Metal mobility and bioaccumulation differences at lower trophic levels in marine ecosystem dominated by *Sargassum* species. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 3:435-442.

Hershey, A. E., K. Fortino, B. J. Peterson, A. J. Ulseth. 1996. Stream food webs. En: F. R. Hauer, and G. A. Lamberti (eds). *Methods in stream ecology*. Academic Press. p. 637-662.

Hobson, E. S. 1965. Diurnal-nocturnal activity of some inshore fishes in the Gulf of California. *Copeia* 3:291-302.

Hobson, K. A., H. E. Welch. 1992. Determination of trophic relationship within a high arctic marine food web using  $\text{d}^{13}\text{C}$  and  $\text{d}^{15}\text{N}$  analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 84:9-18.

- Humann, P., N. Deloach. 1993. Red fish identification. Galápagos. New World Publications, Inc., Florida. 267p.
- Hyslop, E. J. 1980. Stomach contents analysis-a review of methods and their application. *J. Fish Biol.* 17:411-429.
- Izaguirre-Fierro, G., F. Páez-Osuna, I. Osuna-López. 1992. Heavy metals in fish from Culiacán Valley, Sinaloa, México. *Cienc Mar.* 18:143-151.
- Jara-Marini, M. E., M. F. Soto-Jiménez, F. Páez-Osuna. 2009. Trophic relationships and transference of cadmium, copper, lead, and zinc in a subtropical coastal lagoon food web from SE Gulf of California. *Chemosphere.* 77:1366-1373.
- Jenkins, O. P., B. W. Evermann. 1889. Description of eighteen new species of fishes from the Gulf of California. *Proceedings of the United States National Museum.* 11:137-158.
- Jennings, S., O. Reñones, B. Morales-Nin, N. V. C. Polunin, J. Moranta, J. Coll. 1997. Spatial variation in the  $^{15}\text{N}$  and  $^{13}\text{C}$  stable isotope composition of plants, invertebrates and fishes on Mediterranean reefs: implication for the study of trophic pathways. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 146:109-116.
- Knudsen, S. W., K. D. Clemens. 2013. Revision of the fish family Kyphosidae (Teleostei: Perciformes). *Zootaxa.* 3751:1-101.
- Lobel, P., J. Ogden. 1981. Foraging by herbivorous parrotfish *Sparisoma radians*. *Mar. Biol.* 64:173-183.
- Mar Silva, V., R. Hernández Morales., M. Medina Nava. 2014. Métodos clásicos para el análisis del contenido estomacal en peces. *Biológicas.* 16:13-16.
- Mertz, W. 1981. The essential trace elements. *Science* 213:1332-1338.
- Minagawa, M., D. A. Winter, I. R. Kaplan. 1984. Comparison of Kjeldahl and combustion methods for measurement of nitrogen isotope ratios in organic matter. *Anal. Chem.* 56:1859-1861.
- Montgomery, W. L. 1980. The impact non-selective grazing by the giant blue damselfish, *Microspathodon dorsalis*, on algal communities in the Gulf of California, Mexico. *Bull. Mar. Cienc.* 30:290-303.
- Moreno-Sánchez, X. G., L. A. Abitia-Cárdenas, O. Escobar-Sánchez, D. S. Palacios-Salgado. 2011. Diet of the Cortez damselfish *Stegastes rectifraenum* (Teleostei: Pomacentridae) from the rocky reef at Los Frailes, Baja California Sur, Mexico. *Mar. Biodivers. Rec.* 4:1-5.

Norma Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009. Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación, 10 febrero 2011.

Norris, N. N. 2014. Marine algae of the northern Gulf of California II: Rhodophyta. *Smith Social Contribution to Botany*. 96. Washington D.C. 543p.

Páez-Osuna, F., C. C. Osuna-Martínez. 2011. Biomonitores de la contaminación costera con referencia a las costas mexicanas: una revisión sobre los organismos utilizados. *Hidrobiología*. 21:229-238.

Páez-Osuna, F., A. C. Ruiz-Fernández, M. F. Soto-Jiménez. 2011. Metales: fuentes, retención y movilización en los estanques de acuicultura y ecosistemas costeros. En: F. Páez Osuna (ed.). *Metales en camarón silvestre y de cultivo: importancia, efectos y transferencia trófica*. Coeditado por UNAM, UAS, CESUES, El Colegio de Sinaloa. p. 1-30. 2007

Pauly, D., R. Froese, P. Sala, M. L. Palomares, V. Christensen, J. Rius. 2000. *TrophLab Manual*. ICLARM, Manila. [en línea]. <<http://www.fisheries.ubc.ca/archive/members/dpauly/software.php>>

Pinkas, L., M. S. Oliphant, L. K. Iverson. 1971. Food habits of albacore, blue fin tuna and bonito in California waters. *Calif. Fish. Game. Bull.* 152:1–105.

Polo-Silva, C. J., J. F. Galván-Magaña, A. Delgado-Huertas. 2012. Trophic inferences of blue shark (*Prionace glauca*) in the Mexican Pacific from stable isotope analysis in teeth. *Rapid Commun Mass Spectrom*, 26:1631–1638.

Price, N. M., F. M. M. Morel. 1990. Cadmium and cobalt substitution for zinc in a marine diatom. *Nature*, 344:658–660.

Quintero-Alvarez, J. M., M. F. Soto-Jiménez, F. Armanta, D. Voltolina, M. G. Frías-Espéricueta. 2012. Cadmium and lead concentrations in the fish tissues of a coastal lagoon system of the SE Gulf of California. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 89:820-823.

Rainbow, P.S. 2002. Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: Why and so What? *Environ. Pollut.* 120:497-507.

Randall, J.E. 1967. Food habits of reef fishes of the West Indies. *Stud. Trop. Oceanogr.* 5:665-848.

Reinhold, J. G. 1975. Trace elements a selective survey. *Clin. Chem.* 21:476-500.

Ruelas-Inzunza, J. R., F. Páez-Osuna. 2008. Trophic distribution of Cd, Pb and Zn in a food web from Altata-Ensenada del Pabellón subtropical lagoon, SE Gulf of California. *Archo. Environ. Contam. Toxicol.* 54: 584-596.

Ruelas-Inzunza, J. R., F. Páez-Osuna, D. García-Flores. 2010. Essential (Cu) and non essential (Cd and Pb) metals in ichthyofauna from the coast of Sinaloa state (SE Gulf of California). *Environ. Monit. Assess.* 162:251-263.

Russell, B. C. 1983. The food and feeding habits of rocky reef fishes of north-eastern New Zealand. *New. Zeal. J. Mar. Fresh.* 17:121-145.

Salinas-Zavala, C. A., D. B. Lluch-Cota, S. Hernández-Vázquez, D. Lluch-Belda. 1992. Anomalías de precipitación en Baja California Sur durante 1990. Posibles causas. *Atmósfera*, 5:79-93.

Schindler, D. E., M. D. Scheuerell. 2002. Habitat coupling in lake ecosystems. *Oikos*, 98: 177-189.

Shumilin, E. N., G. Rodríguez-Figueroa, O. Morton Bermea, E. Lounejeva Baturina, E. Hernández, D. Rodríguez Meza. 2000. Anomalous trace element composition of coastal sediments near the copper mining district of Santa Rosalia, Peninsula of Baja California, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 65:261-268

Sivaperumal, P., T. V. Sankar, N. Viswanathan. 2007. Heavy metal concentrations in fish, shellfish and fish products from internal markets of India vis-a-vis international standards. *Food Chemistry*, 102:612-620.

Sturm, E. A., M. H. Horn. 1998. Food habits, gut morphology and pH, and assimilation efficiency of the zebraperch *Hermosilla azurea*, an herbivorous kyphosid fish of temperate marine waters. *Mar. Biol.* 132:515-522.

Suárez-Castillo, A. N. 2008. Fauna asociada a mantos de *Sargassum* (Ochrophyta: Fucales) en el Sauzoso, Baja California Sur, México. Tesis (Maestría en Manejo de Recursos Marinos). La Paz, B.C.S. CICIMAR. 1110p.

Suárez-Castillo, A. N., R. Riosmena-Rodríguez, M. Rojo-Amaya, J. Torre-Cosío, R. Rioja, A. Hudson-Weaver, T. Pfister, G. Hernández-Carmona, G. Hinojosa-Arango, O. Aburto-Oropeza, A. L. Figueroa-Cárdenas. 2013. Bosques de algas pardas en el Golfo de California: *Sargassum*, un hábitat esencial. *Biodiversitas*, 108:12-16.

Thomas, C. J., L. B. Cahoon. 1993. Stable isotope analyses differentiate between different trophic pathways supporting rocky-reef fishes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 95:19-24.

Thomson, D. A., L. T. Findley, A. N. Kerstitch. 2000. Reef fishes of the Sea of Cortez. The rocky-shore fishes of the Gulf of California. First edition. University of Texas Press. USA. 353p.

Thomson, D. A., M. R. Guilligan. 2002. Rocky-Shore Fishes, 154-180. En: Case, T. J.; M. L. Cody y E. Ezcurra (eds.). A New Island Biogeography of the Sea of Cortés. Oxford University Press. USA. 669 p.

Villa-Elizaga, I., I. Navarro Blasco, A. Martín Pérez. 1999. Elementos traza. En: Hernández M. y A. Satre (eds.). Tratado de nutrición. Ediciones Díaz Santos, S.A. Madrid.

Villanueva, S. F., A. V. Botello. 1998. Metal pollution in coastal áreas of México. Rev. Environ. Contam. Toxicol. 157:53-94.

Villareal-Cavazos, A. 1988. Distribución y diversidad de peces en el arrecife coralino de Cabo Pulmo-Los Frailes, B.C.S. Tesis (Licenciatura). UABCS, La Paz, B.C.S., México. 144 p.

Wang, W. 2002. Interactions of trace metals and different marine food chains. Mar. Ecol. Prog. Ser. 243:295–309.

Wilson, I. F., V. S. Rocha. 1955. Geology and mineral deposits of the Boleo cooper district Baja California, México. Geological Survey Professional Paper. U. S. Government Printong Office, Washington. 134p.

Zar, J. H. 2010. Analysis Bioestatistical. 2nd Edition. Pentice-Hall, New Jersey. 662p.