



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



**HÁBITOS ALIMENTICIOS DE LA RAYA GUITARRA
Pseudobatos buthi (Rutledge, 2019), EN SANTA
ROSALÍA, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO**

TESIS

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

PRESENTA

JESSICA PÉREZ DURÁN

LA PAZ, B.C.S., DICIEMBRE DEL 2021



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de siendo las horas del día del mes de del se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: para examinar la tesis titulada: del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	Pérez	Apellido Materno:	Durán	Nombre (s):	Jessica
-------------------	-------	-------------------	-------	-------------	---------

Número de registro:

Aspirante del Programa Académico de Posgrado:

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 15 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo **SI** **NO** **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN: *(Por ejemplo, el % de similitud se localiza en metodologías adecuadamente referidas a fuente original)*
El mayor porcentaje de similitud se encuentra en la metodología y los antecedentes del trabajo, todo lo cual se encuentra debidamente citado

****Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR** **SUSPENDER** **NO APROBAR** la tesis por **UNANIMIDAD** o **MAYORÍA** en virtud de los motivos siguientes:

"SATISFACE LOS REQUISITOS SEÑALADOS POR LAS DISPOSICIONES REGLAMENTARIAS VIGENTES"

COMISIÓN REVISORA DE TESIS

 DR. ARTURO TRIPP VALDEZ	 DR. ALBERTO SÁNCHEZ GONZÁLEZ	 DR. FERNANDO RICARDO ELORRIAGA VERPLANCKEN
Director de Tesis Nombre completo y firma	Nombre completo y firma	Nombre completo y firma
 DR. FELIPE GALVÁN MACAÑA	 DRA. ALEJANDRA PIÑÓN GIMATE	 DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO
Director de Tesis Nombre completo y firma	Nombre completo y firma	Nombre completo y firma PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 29 del mes de Noviembre del año 2021

El (la) que suscribe BIOL. Jessica Pérez Durán Alumno (a) del Programa

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B190522 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. ARTURO TRIPP VALDEZ Y DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

y cede los derechos del trabajo titulado:

“Hábitos alimenticios de la raya guitarra *Pseudobatos buthi* (Rutledge, 2019), en Santa Rosalía, Baja California, Sur, México

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

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: jperezduran91@gmail.com - atrippv@ipn.mx - fgalvan@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BIOL. Jessica Pérez Durán

Nombre y firma del alumno

Jessica Perez Duran

Tesis final Jessica v2.docx

Jessica Pérez Durán

Resumen de fuentes

15%

SIMILITUD GENERAL

1	s6250e2cbcd1c88c4.jimcontent.com INTERNET	9%
2	cdigital.uv.mx INTERNET	2%
3	www.scielo.org.mx INTERNET	1%
4	www.repositoriodigital.ipn.mx INTERNET	<1%
5	repositoriodigital.ipn.mx INTERNET	<1%
6	www.sisal.unam.mx INTERNET	<1%
7	cienciasmarinas.com.mx INTERNET	<1%
8	200.23.223.1 INTERNET	<1%
9	repositorio.ug.edu.ec INTERNET	<1%
10	www.biblioteca.cicimar.ipn.mx INTERNET	<1%
11	inp.semarnat.gob.mx INTERNET	<1%
12	Joan Gastón Zamora-Abrego, Ángela María Ortega-León. "Ecología trófica de la lagartija Xenosaurus mendozai (Squamata: Xenosauridae) en el e... CROSSREF	<1%
13	www.gob.mx INTERNET	<1%
14	www.squalus.org INTERNET	<1%
15	backend.aprende.sep.gob.mx INTERNET	<1%
16	epdf.pub INTERNET	<1%
17	expeditorepositorio.utadeo.edu.co INTERNET	<1%
18	repositorio.lamolina.edu.pe INTERNET	<1%
19	repositoriodigital.uns.edu.ar INTERNET	<1%
20	www.grin.com INTERNET	<1%
21	www.lajar.cl INTERNET	<1%
22	www.medicinaoral.com INTERNET	<1%

Se excluyeron los depósitos de búsqueda:

- Ninguno

Excluido del Informe de Similitud:

- Bibliografía
- Citas textuales

Dedicatoria

Todo mi esfuerzo y sacrificio es dedicado a mi familia, principalmente a mis padres y mi esposo, ya que siempre han sido el motor impulsor de mis logros tanto en lo profesional como en lo personal. A mi pequeña luz de mi vida, mi

pequeña Amahia, por ti y para ti es este logro. A mi hermana que ha sido mi ejemplo por seguir, mi orgullo. A mis suegros, por todo su apoyo y dedicación, a todos ustedes gracias y mil gracias, porque sin ustedes no sería lo que soy hoy.

Agradecimientos

Al Dr. Arturo Tripp y Dr. Felipe Galván, gracias por acertarme, por enseñarme todo lo que se hoy, por su dedicación. Gracias a ustedes tuve la oportunidad de comenzar de nuevo y enamorarme de este maravilloso grupo que son los elasmobranquios. Gracias profes...

A mis primeros profesores y guías en esta aventura, a la Dra. Aída Martínez y al Dr. Verdugo, gracias por toda su dedicación, por haberme acogido y transmitido todos

sus conocimientos. Al Dr. Verdugo en especial, por todo su apoyo, por estar siempre pendiente de mí, gracias profe, es usted muy especial.

A todos mis amigos, a la Mr. Ailet Vives, por hacer de La Paz uno de mis lugares favoritos, gracias por todo tu apoyo.

A las extraordinarias, chicas ustedes son especiales, gracias por siempre estar ahí para mí, por compartir mis momentos de tristeza, pero también de alegría. Gracias a la Mr. Ana Laura Acosta, sin ti todo esto no hubiera sido posible, gracias.

A CICIMAR-IPN por haberme dado esta oportunidad de superación profesional junto a maravillosos profesores.

Al proyecto Tiburones y rayas por permitirme ser parte de esta gran investigación.

A CONACYT por la beca otorgada, gracias a ella mis días fueron más amenos en La Paz y mi dedicación a la tesis fue 100%.

A mi comité: Dr. Arturo Tripp, Dr. Felipe Galván, Dr. Alberto Sánchez, Dra. Alejandra Piñón y Dr. Fernando Elorriaga. Gracias profes por sus consejos a cada momento y contribuir a la realización de esta investigación.

Contenido

Lista de figuras	ii
Lista de tablas	iv
Glosario	v
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. ANTECEDENTES	8
3. JUSTIFICACIÓN	11
4. HIPÓTESIS	12
5. OBJETIVOS	13
5.1. Objetivo general	13
5.2. Objetivos específicos	13
6. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	14
7. MATERIALES Y MÉTODOS	15
7.1. Trabajo de campo	15
7.2. Trabajo de laboratorio	16
7.2.1. Análisis de contenido estomacal	16
7.2.2. Análisis cualitativo de la dieta	16
7.3. Análisis cuantitativo	17
7.3.1. Composición de tallas y sexos de la muestra	18
7.3.2. Estimación del tamaño de muestra	19
7.3.3. Análisis del espectro trófico	19
7.4. Índices ecológicos	21
8. RESULTADOS	25
8.1. Composición de tallas y sexo	25
8.2. Análisis cualitativo	27
8.3. Análisis cuantitativo de la dieta	29
8.3.1. Análisis del espectro trófico de <i>P. buthi</i>	31
8.3.2. Espectro trófico de <i>P. buthi</i> por sexo	33
8.3.3. Espectro trófico de <i>P. buthi</i> por grupos de tallas	35
8.4. Índices ecológicos	37
9. DISCUSIÓN	44
9.1. Abundancia y estructuras de tallas	44
9.2. Análisis Cualitativo	45
9.3. Análisis cuantitativo de la dieta	47
9.3.1. Espectro trófico de <i>P. buthi</i>	47
9.3.2. Espectro trófico de <i>P. buthi</i> por sexo	49
9.3.3. Espectro trófico de <i>P. buthi</i> por grupos de tallas	50
9.4. índices ecológicos	52
10. CONCLUSIONES	57
11. RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	59

Lista de figuras

Figura 1: Distribución de <i>Pseudobatos buthi</i> en el Golfo de California (Tomada de Rutledge, 2019)	5
Figura 2: Vista dorsal de las principales especies del género <i>Pseudobatos</i> en el Golfo de California. (a) <i>Pseudobatos buthi</i> , (b) <i>Pseudobatos leucorhynchus</i> , (c) <i>Pseudobatos glaucostigmus</i> , (d) <i>Pseudobatos productos</i> . (Tomada de Rutledge, 2019)	6
Figura 3: Área de estudio Santa Rosalía, Baja California Sur, México, dónde se muestra el corredor Santa Rosalía – Mulegé.....	15
Figura 4: Análisis gráfico de la estrategia alimentaria (Tomado de Amundsen <i>et al.</i> , 1996).	23
Figura 5: Longitud total (cm) de tallas para hembras (H) y machos (M), dónde se observan diferencias de estas en función del sexo ($F= 20.35$, $p=0.0001$).	26
Figura 6: Histograma de distribución de tallas para las muestras de contenido estomacal de <i>Pseudobatos buthi</i> . a) La flecha azul indica la ubicación del macho más pequeño. a) La línea roja indica la separación de los grupos de individuos en función de sus tallas.	26
Figura 7: Porcentaje de estómagos vacíos y con contenidos de <i>Pseudobatos buthi</i> en Santa Rosalía. B.C.S.	27
Figura 8: Clasificación de los estómagos de acorde a su porcentaje de llenado....	28
Figura 9: Clasificación de las especies presas encontradas en los estómagos de <i>Pseudobatos buthi</i> de acorde a su grado de digestión.	28

Figura 10: Curva de acumulación de <i>P. buthi</i> , dónde los puntos negros son la diversidad acumulada, la línea gris es el coeficiente de variación y la línea gris punteada representa dónde se alcanzó la representatividad de la dieta.	29
Figura 11: Curva de acumulación por sexo de <i>P. buthi</i> , dónde los puntos negros son la diversidad acumulada, la línea gris es el Coeficiente de Variación y la línea gris punteada representa donde se alcanzó la representatividad de la dieta.	30
Figura 12: Curva de acumulación por grupos de tallas de <i>P. buthi</i> , dónde los puntos negros son la diversidad acumulada, la línea gris es el Coeficiente de Variación y la línea gris punteada representa donde se alcanzó la representatividad de la dieta.....	30
Figura 13: Índice de Importancia Presa Específica (%PSIRI) de la guitarra <i>P. buthi</i> en Santa Rosalía, B.C.S.	32
Figura 14: Índice de Importancia Presa Específica (%PSIRI) por sexo de la guitarra <i>P. buthi</i> en Santa Rosalía, B.C.S.	35
Figura 15: Índice de Importancia Presa Específica (%PSIRI) por grupos de tallas de la guitarra <i>P. buthi</i> en Santa Rosalía, B.C.S.	36
Figura 16: Contribución de las presas dentro de la dieta de <i>P. buthi</i> , en términos de su abundancia (%PN) y frecuencia de ocurrencia (%FO).	39
Figura 17: Contribución de las presas dentro de la dieta de las hembras (a) y los machos (b) de <i>P. buthi</i> , en términos de su abundancia (%PN) y frecuencia de ocurrencia (%FO).	40
Figura 18: Contribución de las presas dentro de la dieta de los individuos de G1 (a) y G2 (b) de <i>P. buthi</i> , en términos de su abundancia (%PN) y frecuencia de ocurrencia (%FO).	42

Lista de tablas

- Tabla 1.** Categorías de presas con niveles tróficos (Nti) establecidos a partir de Cortés (1999) para la determinación del nivel trófico de *P. buthi*.**24**
- Tabla 2.** Proporción de machos y hembras de *Pseudobatos buthi* en la localidad de Santa Rosalía del Golfo de California.**27**
- Tabla 3.** Espectro trófico de *Pseudobatos buthi* en Santa Rosalía, Baja California Sur, expresado en método numérico (%N), gravimétrico (%W), frecuencia de ocurrencia(%FO) e Índice de importancia presa específica (%PSIRI).**33**
- Tabla 4.** Valores de índice de Levin indicando amplitud trófico y diversidad de presas obtenidas a través del χ índice de Shannon de *Pseudobatos buthi* en Santa Rosalía B.C.S.**37**

Glosario

Amplitud trófica: Selección de la dieta con respecto a un número potencial de alimentos (Gerking, 1994).

Demersal: Organismo asociados con el fondo, pero que también se mueven dentro de la columna de agua (Gerking, 1994).

Especies especialista: Se caracterizan por presentar una amplitud del nicho ecológico reducida (Glasser 1982)

Especies generalista: Especies con un amplio nicho trófico (Glasser 1982)

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

Fitoplancton: Grupo de organismos microscópicos pertenecientes al plancton que se caracterizan por ser fotosintetizadores, con una movilidad limitada, y una distribución dependiente de las corrientes oceánicas (Riley y Chester, 1971).

Hábito alimentario: Estudio que provee una descripción del alimento ingerido recientemente por un organismo con la finalidad de comprender las interacciones ecológicas que lleva a cabo dentro del ecosistema donde vive, por lo que se requiere conocer la cantidad de alimento ingerido y la frecuencia alimenticia de dicho organismo (Carrier *et al.*, 2004).

Nicho ecológico: Papel que desempeña una especie o población dentro del ecosistema (Hutchinson, 1957).

Nivel trófico: Posición en la que se ubica un determinado organismo dentro de la red trófica de acuerdo con la manera en la cual obtiene su materia y energía (Gerking, 1994).

Partición de alimento: Las especies reparten los recursos tróficos alimentándose de presas diferentes o aprovechando el mismo recurso en distintas etapas de su ciclo de vida (Pineda-Peralta *et al.*, 2016).

Trófico: Implica los hábitos de alimentación o relaciones alimenticias de diferentes organismos en una cadena o red de alimentos (Gerkin, 1994).

RESUMEN

Recientemente se ha descrito para el género *Pseudobatos* (familia Rhinobatidae) una nueva especie en el Golfo de California: *Pseudobatos buthi* (Rutledge, 2019). Sin embargo, aún se desconoce todo lo relacionado a la biología y ecología de esta especie de raya. En el presente estudio se analiza los hábitos alimenticios de *P. buthi* a través del análisis de contenido estomacal. Se capturaron 119 individuos entre agosto del 2019 a febrero del 2020, con redes de enmalle en la pesca artesanal que opera en las aguas de Santa Rosalía, B.C.S. Para analizar las diferencias de dieta entre sexos y grupos de tallas, se utilizó el Índice de Importancia de presa específica (%PSIRI) y métodos no paramétricos multivariados. Las tallas oscilaron entre 42 y 101 cm de longitud total con un promedio de 68.8 cm LT (± 8.9 DE). De los 119 estómagos analizados 66 presentaron contenido estomacal. La dieta global estuvo dominada por crustáceos (81.9%), seguida de moluscos (10.2%) y en menor medida de teleósteos (7.9%). El PSIRI mostró que las presas más importantes en la dieta de *P. buthi* fueron: la langostilla *Pleuroncodes planipes* (16.6%), el estomatópodo *Squilla bigelowi* (11.5%) y camarones de la familia *Penaeidae* (4.5%). Asimismo, esta especie es considerada un depredador secundario (Nivel trófico= 3.7) con una estrategia especialista ($B_i = 0.4$).

Palabras clave: Contenido estomacal, depredador secundario, estrategias de alimentación

ABSTRACT

A new species has recently been described for the genus *Pseudobatos* (family Rhinobatidae) in the Gulf of California: *Pseudobatos buthi* (Rutledge, 2019). However, everything related to the biology and ecology of this species of ray is still unknown. In the present study, the eating habits of *P. buthi* are analyzed through the analysis of stomach content. For this, 119 individuals were captured between August 2019 and February 2020, with gillnets by artisanal fishing that operates in the waters of Santa Rosalía, B.C.S. To analyze the differences in diet between sexes and size groups, the Specific Prey Importance Index (% PSIRI) and multivariate non-parametric methods were used. The sizes ranged from 42 to 101 cm in total length with an average of 68.8 cm TL (\pm 8.9 SD). Of the 119 stomachs analyzed, 66 stomach content. The global diet was dominated by crustaceans (81.9%), followed by mollusks (10.2%) and to a lesser extent by teleosts (7.9%). The PSIRI showed that the most important prey in the *P. buthi* diet were the prawn *Pleuroncodes planipes* (16.6%), the stomatopod *Squilla bigelowi* (11.5%) and shrimp of the Penaeidae family (4.5%). Likewise, this species is considered a secondary predator (trophic level = 3.7) with a specialist strategy (Bi = 0.4).

Keywords: Stomach content, secondary predator, feeding strategies

1. Introducción

Los peces batoideos pertenecen a la clase Chondrichthyes al igual que los tiburones y quimeras; están representados por cerca de 600 especies de rayas, rajas y mantarrayas alrededor de todo el mundo. De igual forma, la subdivisión Batoidea incluye cuatro órdenes: Torpediniformes, Pristiniformes, Rajiformes y Myliobatiformes (McEachran y Aschliman, 2004). Dentro del Orden Pristiniformes, se destaca la familia Rhinobatidae comúnmente conocidos como peces guitarra, por ser parte importante de la captura incidental de numerosas pesquerías en el mundo (Stobutzki *et al.*, 2002; Klippel *et al.*, 2005) lo que, junto a otras amenazas como la degradación de hábitats y el comercio de sus aletas dorsales (Fowler *et al.*, 2005), ha llevado a que 37 de las 48 especies estén incluidas en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN, siendo 10 de éstas categorizadas como vulnerables o amenazadas y una como críticamente amenazada (*Rhinobatos horkelli*) (IUCN, 2010). A su vez, dentro del Golfo de California, el impacto ocasionado por la captura incidental de rayas en la pesquería de camarón no ha sido formalmente cuantificado; no obstante, estimaciones preliminares sugieren que la captura incidental en la pesca de arrastre puede ser de mayor dimensión que las capturas de la pesquería artesanal de rayas (Márquez-Farias 2002).

De igual manera, a través de la pesquería artesanal se ha podido documentar dentro del Golfo de California 24 especies de rayas, siendo la familia Rhinobatidae una de las familias con mayor número de individuos, lo que ha conllevado que la pesca hacia estas especies constituya una alternativa de subsistencia para cientos de familias de pescadores, mientras otros recursos de mayor valor económico como la sierra, jaiba y camarón escasean o se encuentran en veda (Downton-Hoffmann, 2007). Esto ha provocado que dicha familia tenga una contribución del 52 al 72 % de la producción regional en número de organismos; representada principalmente por las especies *Pseudobatos productus*, la guitarra moteada *Pseudobatos glaucostigmus* y la guitarra bandeada *Zapteryx exasperata*, seguidas por otras especies de rayas que de igual forma presentan un valor económico en las

pesquerías (Villavicencio-Garayzar, 1996; Márquez-Farías *et al.*, 2006; 2015; Moore, 2017).

Los peces guitarra (Rhinobatidae), al igual que el resto de las rayas se caracterizan por presentar un esqueleto cartilaginoso, cuerpo comprimido dorsoventralmente, presencia de aletas pectorales las cuales se encuentran fusionadas al cuerpo, así como branquias ventrales (McEachran y Aschliman, 2004). De igual manera, son capaces de ocupar una gran variedad de hábitats, como fondos lodosos arenosos, bancos de macroalgas y arrecifes cercanos, alimentándose en todos estos ambientes de especies bénticas (Blanco-Parra *et al.*, 2012). Su dieta está dominada por pequeños crustáceos, mientras que los peces constituyen un componente complementario (Talent 1982; White *et al.*, 2004; Bizzarro, 2005; Navia *et al.*, 2007). Están adaptados a diversos hábitats y presentan una distribución desde aguas estuarinas y costeras, hasta profundidades mayores a 300 m (McEachran y Aschliman, 2004).

Estas especies suelen presentar mayor actividad alimenticia en periodos con escasa luz solar, así como diferencias de espectro trófico relacionado al sexo, estado de madurez y estadios de desarrollo ontogénico (Cartamil *et al.*, 2003; Barbini, 2006; Vaudo y Lowe, 2006; Navia, 2009; Woodland *et al.*, 2011; Vaudo, 2011).

Recientemente, se describió para el género *Pseudobatos* (familia Rhinobatidae) una nueva especie en la costa occidental del Golfo de California; *Pseudobatos buthi* (Rutledge, 2019), la cual fue descrita en el 2019 en base a 82 especímenes de museo, que fueron recolectados en las décadas de 1940 y 1950 y permanecieron sin analizar en la colección de peces de la UCLA y el Museo de Historia Natural del Condado de Los Ángeles (Rutledge, 2019). *P. buthi* se caracteriza por ser una especie bentónica que habita en el Golfo de California (**Fig.1**) en aguas poco profundas pasando la mayor parte del tiempo en el fondo marino en regiones costeras arenosas y fangosas (Rutledge, 2019).

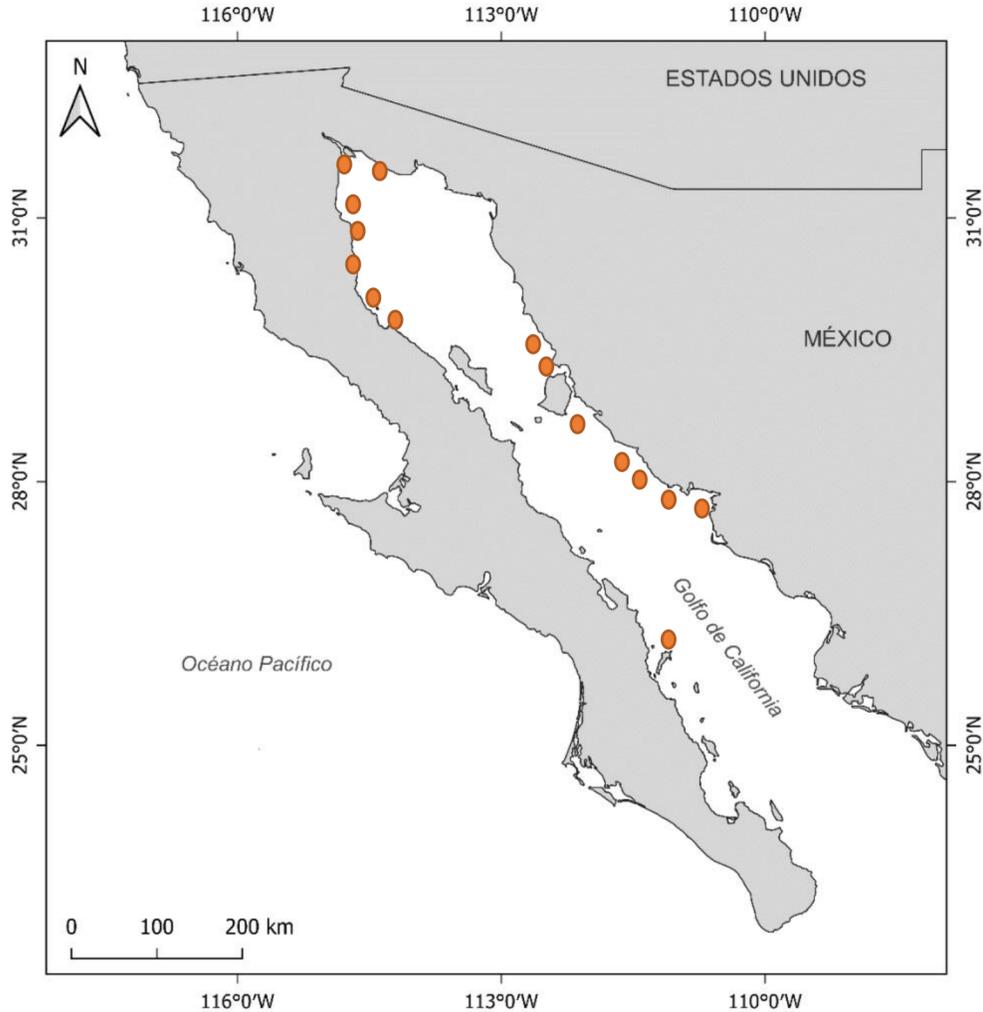


Figura 1: Distribución de *Pseudobatos buthi* en el Golfo de California (Tomada de Rutledge, 2019).

De igual manera, se diferencia de otras especies debido a sus caracteres morfológicos, como son una cabeza y un hocico más estrechos, menor distancia en la región inter orbital, así como de las órbitas al margen del disco, por la ausencia de pequeñas espinas entre las órbitas y alrededor del hocico (**Fig.2**). Sin embargo, a pesar de las diferencias es probable que sea similar en comportamiento y ecología a sus parientes más cercanos (Rutledge, 2019).

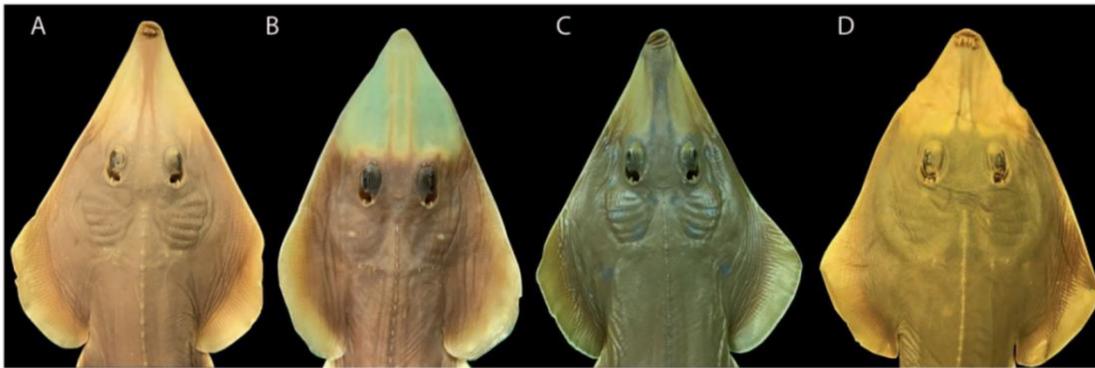


Figura 2: Vista dorsal de las principales especies del género *Pseudobatos* en el Golfo de California. (a) *P. buthi*, (b) *P. leucorhynchus*, (c) *P. glaucostigmus*, (d) *P. productus*. (Tomada de Rutledge, 2019).

A pesar de la falta de información respecto a la biología y ecología de *P. buthi*, esta especie, al igual que el resto de las rayas son consideradas especies de alto valor ecológico, debido a su función como depredadores (Myers *et al.* 2007, Heithaus *et al.* 2008, Navia *et al.* 2010), al funcionar como potenciales estructuradores de las poblaciones de sus presas bentónicas (Bizarro *et al.*, 2007; Myers *et al.*, 2007; Heithaus *et al.*, 2010), principalmente de invertebrados y algunos peces (Cortés, 1999; Bizarro *et al.*, 2007; de la Rosa-Meza *et al.*, 2013). De igual manera, ante una disminución de sus depredadores puede provocar que los batoideos ubicados en niveles tróficos intermedios pasen a un nivel trófico más alto y participen como mesodepredadores en efectos de regulación poblacional (cascadas tróficas) (Myers *et al.*, 2007; Ritchie y Johnson, 2009; Navarro-González *et al.*, 2012, Navia *et al.*, 2013), provocando que actúen como vínculo entre los depredadores apicales y los productores primarios equilibrando así el balance energético en los ecosistemas marinos (Ritchie *et al.*, 2012). Por tal razón, conocer y estudiar la ecología trófica de las especies es uno de los principales aspectos básicos en su biología, ya que sus funciones vitales y por ende su éxito reproductivo dependerán de la energía que ingieran a través de su alimento (Macpherson, 1977).

En la literatura, una de las herramientas que se ha implementado para inferir respecto al rol ecológico de las poblaciones batoideas, ha sido a través del tipo de dieta, de manera que a partir del alimento que consumen se puede inferir la forma

en que se encuentran organizadas al interior de un nicho ecológico en su eje trófico (Valverde *et al.* 2005). Además, conocer el comportamiento alimenticio de una especie permite inferir sus movimientos, conductas, así como adaptaciones específicas que puedan adquirir en función del tipo de alimento (Polo-Silva *et al.* 2008, 2011).

El análisis del contenido estomacal se ha convertido en el método más conocido y utilizado para el estudio de la dieta de los peces (Valente, 1992). Dicho análisis, nos permite estimar como estos utilizan los recursos disponibles en su medio, cual es la posición que ocupan en la red trófica y a nivel de interacciones biológicas si compiten por recursos con otros organismos (Silva *et al.*, 2014). De igual manera, tiene la ventaja de que a pesar que brinda una ventana de tiempo de 24 h cuando mucho, nos proporciona una resolución taxonómica alta de las presas de las que se está alimentando el depredador; aunque se debe de señalar que las tasas diferenciales del grado de digestión de las presas hace que el trabajo taxonómico sea más laborioso y complicado, así como también se puede sobrestimar la abundancia de aquellas presas que son digeridas lentamente (e.g. peces) (Blanco-Parra *et al.*, 2011).

2. Antecedentes

La descripción de la alimentación de diferentes especies de batoideos se ha documentado a través del tiempo en numerosos estudios mediante diversos métodos. En dichos estudios, se han podido describir aspectos como: las presas principales (Valadez-González, 2000; Valenzuela-Quiñonez, 2009), el grado de especialización trófica que presentan (Collins *et al.*, 2007), diferencias en la alimentación relacionadas al cambio de su morfología (dentición) y ontogenia (Valadez-González, 2007; de la Rosa-Meza *et al.*, 2013). Asimismo, se ha relacionado el tipo de dieta con la temporalidad (Rinewalt *et al.*, 2007) y determinado el traslape y nivel trófico que ocupan en las redes tróficas (Cortés, 1999; Ebert y Bizarro, 2007). Sin embargo, para la familia Rhinobatidae son escasos los trabajos a nivel internacional, concentrándose su mayoría en el continente americano, principalmente en México. Para las aguas mexicanas, se destacan los estudios realizados en el género *Pseudobatos*, principalmente, *Pseudobatos productus*, debido a la importancia de esta especie en las pesquerías dentro del Golfo de California (CONAPESCA, 2004).

Valadez-González (2000, 2007) y Valadez-González *et al.* (2006) describieron para las costas de Colima y Jalisco, los cambios en la composición de la dieta de la guitarra punteada *P. glaucostigmus* conforme a la estacionalidad y el tamaño. Dicho estudio señala que los estomatópodos y los decápodos fueron los componentes más importantes dentro de los contenidos estomacales.

Posteriormente, para ese mismo año, Donwton-Hoffman (2007) analizó 452 estómagos de *P. productus*, en Bahía Almejas y Laguna San de Ignacio; concluyendo que en Bahía Almejas el pez guitarra se alimenta de nueve tipos de presas, de las cuales ocho son crustáceos y un sipúnculido, correspondiente a cuatro familias, cuatro géneros y tres especies. Los crustáceos fueron las presas más frecuentes con un 99% de frecuencia de aparición (%FA), siendo *Callinectes bellicosus* el más común con 37.5 %FA. Para los organismos de Laguna San Ignacio, su dieta se construyó de 40 tipos de presas, de los cuales 31 fueron

crustáceos, 5 peces, 1 molusco, 1 poliqueto, 1 alga y 1 sipúnculido, correspondiente a 24 familias, 20 géneros y 16 especies. Los crustáceos fueron las presas más frecuentes en los estómagos con un 88 %FA, seguida por los peces con un 9 %FA, siendo la especie de *Hemisquilla californiensis* la especie presa más común con un 71.4%FA.

A partir de muestreos realizados de marzo a agosto de 2008, Valenzuela-Quiñonez (2009) analizó la dieta y los hábitos alimenticios de 160 individuos de pez guitarra *P. productus* en el alto Golfo de California por medio de análisis del contenido estomacal e isótopos estables de carbono y nitrógeno. Los camarones (Penaeoidea y Caridea) fueron el alimento principal con un índice de importancia relativa (%IIR) de 51.7%, seguidos por los peces (9.94 %IIR) y cangrejos (Brachyura) (7.2 %IIR). Sin embargo, no encontró diferencias significativas en la composición de la dieta entre hembras y machos, pero si por estadios de madurez.

Blanco-Parra *et al.* (2011) analizaron los hábitos alimenticios de *Zapterix exasperata* en el Golfo de California, a través del análisis del contenido estomacal e isótopos estables, encontrando que las presas principales fueron peces demersales de fondos blandos, principalmente los peces sapo *Porichthys margaritatus*, y teniendo como presa secundaria a la anchoveta *Engraulis mordax*, la cual es un pez pelágico. De igual manera, no se encontraron diferencias significativas en la alimentación entre sexos ni estadios de madurez. Por último, dichos autores concluyeron que esta especie es de hábitos nocturnos y presentó un nivel trófico de 4.1.

Para las costas de Sinaloa y Nayarit, Navarro-González *et al.* (2012) describieron la dieta de *P. glaucostigmus*, junto con otras cinco especies de batoideos. Ellos encontraron que los crustáceos y moluscos fueron los componentes de alimento más importantes; sin embargo, debido al pequeño tamaño de muestra ($n = 24$ contenidos estomacales), no pudieron analizar los cambios en la composición de la dieta con respecto al sexo u otro factor.

Curiel-Godoy (2017) analizó 194 individuos de *P. productus* en Bahía Tortugas B.C.S. a través del análisis de contenido estomacal e isótopos estables de carbono

y nitrógeno en músculo. De acuerdo con el índice de importancia Presa-Específica (%PSIRI), las presas más importantes dentro de la dieta de *P. productus* fue el cangrejo topo *Blepharipoda occidentalis* (13 %) y la langostilla *Pleuroncodes planipes* (12 %). Por otra parte, el modelo de mezcla mostró que la especie presa que más aportó al desarrollo de *P. productus* fue la langostilla *P. planipes* con 42 % de aporte a la dieta seguido de *B. occidentalis*, con solo el 22 % de aporte. De igual forma, se obtuvo un traslapeo alto entre sexo ($R=0.009$; $p=0.17$) y por estadio de madurez ($R= -0.002$; $p=0.54$), mostrando que no hay segregación alimentaria en esta raya. Por último, *P. productus* es una especie bentónica-costera que se comporta de manera especialista para la zona de estudio.

Posteriormente, Vázquez-Moreno (2018) determinó la ecología trófica de *Z. exasperata* a través del análisis de contenidos estomacales e isótopos estables de carbono y nitrógeno en músculo en Bahía tortugas, B.C.S. Según el %PSIRI, las presas principales fueron la langostilla *Pleuroncodes planipes* (26.9 %), camarones peneidos (8.5 %), los peces sapo *Porichthys notatus* (7 %) y *Porichthys spp.* (5 %), más restos de crustáceos y peces que aportaron el 22.7 %. De igual manera, a través del análisis de contenidos estomacales no se encontraron diferencias en la dieta entre sexos ni estadio de madurez. *Z. exasperata*, a su vez, fue considerado como un depredador especialista, con un nivel trófico de 3.8.

3. Justificación

A pesar de que México concentra los mayores trabajos llevados a cabo en los hábitos alimenticios de la familia Rhinobatidae, los estudios realizados para Baja California Sur aún son insuficientes, careciendo de información acerca de la biología básica de estos organismos, principalmente en lo que se refiere a la ecología trófica de la nueva especie *P. buthi*. De igual manera, es importante mencionar que las rayas guitarras son una de las especies más capturadas en la pesquería artesanal dentro del Golfo de California pues son las únicas especies batoideas que se comercializan como tiburón, lo que genera una gran atención hacia sus aletas dorsales, haciéndolas más susceptibles a la sobreexplotación, ya que a diferencia de otros recursos pesqueros que soportan una intensa explotación comercial, como el camarón y las sardinas, las poblaciones de elasmobranchios en general pueden ser disminuidas fácilmente ya que presentan una madurez sexual tardía, baja fecundidad y períodos de gestación largos (Musick, 1999). En virtud de lo anterior, desarrollar nuevos estudios respecto los hábitos alimenticios de estos organismos ayudará a conocer de manera más clara la importancia y el papel que desempeñan dentro de su ecosistema, pues bien sabemos que estas especies constituyen una importante conexión trófica entre el ambiente pelágico y el demersal.

Es por lo anteriormente planteado, y dada la poca información que se tiene respecto a *P. buthi*, este trabajo pretende servir como base para futuras investigaciones, ya que aporta información biológica y ecológica de esta especie que puede ser usada con fines de manejo y conservación en una zona de importancia pesquera como lo es Santa Rosalía, Baja California Sur (SAGARPA, 2013; SAGARPA, 2015).

Por tal razón, para la toma de dichas medidas, dígame: establecer la talla mínima de captura para esta especie, establecer el tipo de arte de pesca empleado, así como establecer un período de veda en el cual no se pueda pescar a *P. buthi*, entre otros. Es necesario generar los conocimientos básicos respecto a la dieta de *P. buthi*, pues será fundamental para entender las relaciones de depredación y competencia que desempeña esta especie dentro del hábitat donde vive y así poder determinar la

dinámica de las cadenas y redes tróficas del ecosistema en cuestión. Por lo tanto, en el presente estudio realizamos una descripción de los hábitos alimentarios de *P. buthi* a través del análisis de contenido estomacal con el fin de estimar su importancia como depredador de la comunidad marina.

4. Hipótesis

Considerando que las rayas de la familia Rhinobatidae tienden a comportarse en su mayoría como especialistas hacia el grupo de crustáceos, no se encontrarán diferencias significativas en cuanto a los hábitos alimenticios de *P. buthi* por sexo y por grupos de tallas en Santa Rosalía B.C.S.

5. Objetivos

5.1. Objetivo general

Analizar los hábitos alimenticios de *Pseudobatos buthi* a través del análisis del contenido estomacal.

5.2. Objetivos específicos

1. Determinar el espectro trófico de *P. buthi* en el área de Santa Rosalía.
2. Evaluar la variación de la dieta acorde al sexo y talla.
3. Analizar las estrategias de alimentación de *P. buthi* por sexo y talla.
4. Estimar la posición trófica de *P. buthi*

5. Caracterización del área de estudio

El Golfo de California está localizado en un medio ambiente árido, entre la Península de Baja California y los estados de Sonora y Sinaloa. Esto provoca que haya flujo de polvo atmosférico que varía de 12 a 143 mg m⁻² d⁻¹ (Segovia-Zavala *et al.*, 2009), proveyendo de micro y macronutrientes al golfo. Es una gran cuenca de evaporación, con comunicación directa con el océano Pacífico (Roden, 1964).

En el golfo se evidencian procesos de mezclas por mareas y surgencias estacionales; producidas principalmente en la costa este por vientos del noroeste durante invierno y primavera, y durante el verano en la costa oeste por vientos del sur (Roden y Groves, 1959; Badán-Dangón *et al.*, 1985). Dichos procesos causan una alta productividad fitoplanctónica, con tasas en el golfo de dos a tres veces mayores que en el océano abierto del Atlántico o del Pacífico a latitudes similares (Zeitzchel, 1969).

En la parte central del Golfo de California, se encuentra el área de estudio, puerto Santa Rosalía a los 27° 20' N y 112° 16' O (**Fig.3**). El agua en esta porción del golfo presenta una salinidad de 35-35.8 ‰ y se caracteriza por la mezcla del agua superficial del Golfo de California y tropical que entra del Pacífico (Álvarez-Borrego *et al.*, 1991). La temperatura superficial en esta zona registra un comportamiento estacional, los valores mínimos se presentan en invierno con 14-18°C y aumentan progresivamente en verano hasta 31°C (García-Pámanes *et al.*, 2011).

En Santa Rosalía se encuentra la Minera El Boleo, empresa dedicada a la extracción de cobre, cuya operación ha contribuido a la contaminación de los sedimentos superficiales con Co, Cu, Mn y Zn (Shumilin *et al.*, 2000).

De igual manera, se puede evidenciar en el medio marino a lo largo del litoral costero arrecifes rocosos, en los que el alga café *Sargassum* forma crecimientos evidentes desde la superficie, las cuales cubren extensiones que van desde unos metros hasta varias hectáreas (Suárez-Castillo *et al.*, 2013). En dichos mantos habitan una gran diversidad de especies marinas, como son los erizos, gasterópodos y peces (Foster *et al.*, 2007, Suárez-Castillo, 2008).

Es importante mencionar que en esta zona de estudio se encuentra el corredor Santa Rosalía-Mulegé (**Fig.3**), ubicado al noreste del estado de Baja California Sur en el municipio de Mulegé, aproximadamente entre los 28°20' y 26°50' latitud norte, y los 112°55' y 111°50' longitud oeste. En dicha zona, se destaca las actividades pesqueras, las cuales están organizadas en empresas cooperativas y privadas, conocidas como unidades económicas. Entre las medidas a las que se deben apegar las pesquerías del corredor, están la NOM-029-PESC-2006 y la NOM-016-SAG/PESC-2014. La primera es para la pesca de tiburones y rayas y establece las características de artes de pesca permitidas, veda permanente para algunas especies y para el resto una veda de mayo a julio. La segunda es dirigida a la lisa o lebrancha, y en ella se estipula la talla mínima de captura y artes de pesca permitidos (SAGARPA, 2013; SAGARPA, 2015).

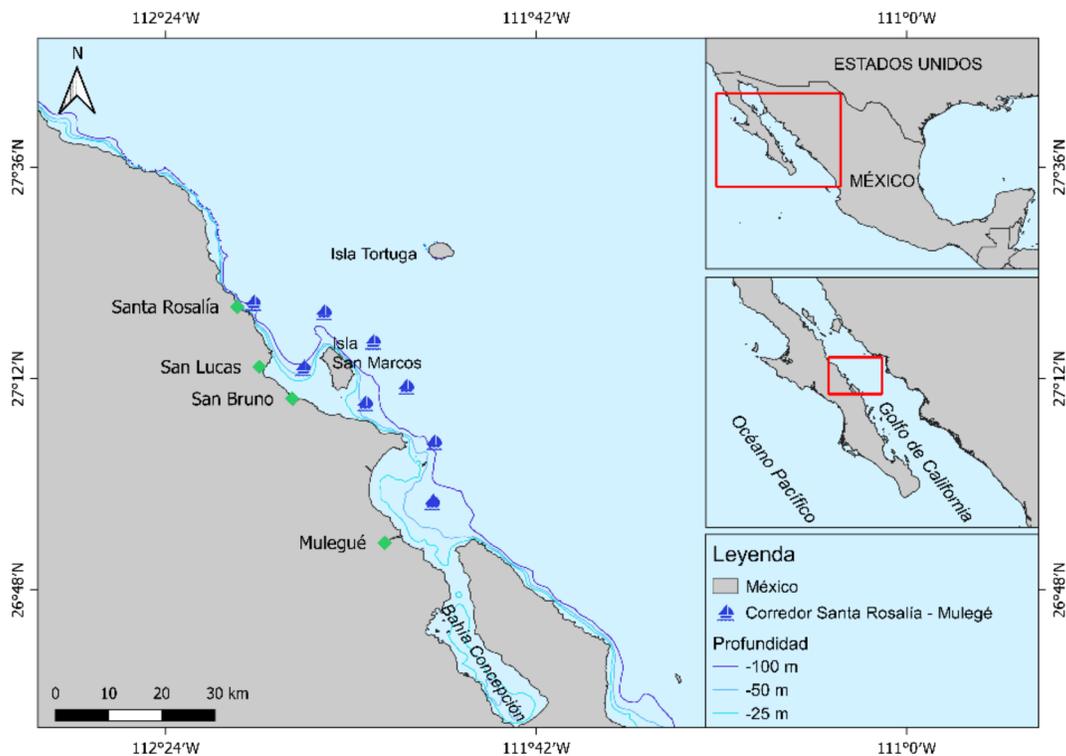


Figura 3: Área de estudio Santa Rosalía, Baja California Sur, México, dónde se muestra el corredor Santa Rosalía-Mulegé.

7. Materiales y Métodos

7.1. Trabajo de campo

Con el objetivo de determinar los hábitos alimenticios de *Pseudobatos buthi*, se realizaron salidas al campo desde agosto 2019 a febrero 2020, para obtener las muestras de estómagos. Los individuos fueron capturados de la pesca artesanal de la zona de estudio, a través del empleo de redes de enmalle en el campo pesquero de Santa Rosalía. Estas redes están compuestas principalmente por monofilamentos y tienen una longitud que varía de 800 a 1000 m, con una altura de hasta 2 m, el tamaño de la malla es muy variable, puede ir desde 7.6 a 25.4 cm. Se colocan por períodos de 24 h y solo son sacadas del agua para retirar los organismos capturados o repararlas. De igual manera, a través de estas redes se capturan principalmente elasmobranquios costeros como batoideos y tiburones juveniles (Ramírez-Amaro, 2011).

Una vez capturados los organismos, se registró, para cada individuo el sexo, largo y ancho del disco, longitud total (LT cm), así como las mediciones propuestas por Rutledge, (2019) para la especie *P. buthi*.

Posteriormente, los machos y hembras fueron clasificados en las categorías de inmaduros o maduros con base en las observaciones macroscópicas de sus órganos de reproducción. Para el caso de los machos, la madurez sexual se determinó según el grado de calcificación de sus gonopterígios (Clark y von Schmidt 1965, Carrier *et al.*, 2004). En el caso de las hembras, se utilizó las características externas de los ovarios y la presencia de ovocitos y embriones en los úteros (Márquez- Farías, 2007).

Se realizaron incisiones en la cavidad abdominal de la especie para la extracción de los estómagos. Una vez obtenidas las muestras, se procedió a almacenarlas en bolsas de plástico con su respectiva etiqueta y se colocaron en hielo molido hasta su traslado a los congeladores en el Laboratorio de Ecología de Peces, del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN).

7.2. Trabajo de Laboratorio

7.2.1. Análisis del contenido estomacal

En los estudios de hábitos alimenticios, el procesamiento de las muestras biológicas ícticas (Silva *et al.* 2014) se divide en: (1) Fase cualitativa, que básicamente es la identificación de los especímenes encontrados en el contenido estomacal y (2) Fase cuantitativa, que es el empleo de índices de dieta (Frecuencia de ocurrencia (FO), numérico (N) y gravimétrico (G)) y de métodos combinados (%PSIRI) que nos permite hacer una descripción de la composición trófica de *Pseudobatos buthi*.

7.2.2. Análisis cualitativo de la dieta

El análisis del contenido estomacal se inició con la descongelación de los estómagos, a cada estómago se le revisó el porcentaje de llenado, asignando una categoría: estómagos con hasta 25% de llenado, representan a la categoría 1; categoría 2, de 26%-50% de llenado; categoría 3, de 51%-75% de llenado y categoría 4, de 76%-100% de llenado. A cada presa se le asigno un grado de digestión siguiendo lo propuesto por Galvan-Magaña (1999):

- Grado 1: Presas que se consideraban aun frescas, con piel y/o escamas.
- Grado 2: Presas que presentaban perdida de alguna parte corporal o donde solo se puede apreciar músculo.
- Grado 3: Presas en las que solo se podían observar restos óseos, (esqueleto o exoesqueleto) y algunas quelas muy duras en crustáceos.
- Grado 4: Se consideraba a la presencia de estructuras duras como otolitos en peces, pico de cefalópodos, en este estado, también se consideró la presencia de los ojos de las especies presas y la materia orgánica no identificada (MONI).

De igual manera, a cada presa se le midió el peso húmedo a través de una balanza analítica (0.001 g) y fueron etiquetada para su posterior identificación taxonómica. Dependiendo de su estado de digestión se procedió a separar cada presa de acorde al grupo taxonómico, identificándolas hasta el menor taxón posible. La identificación

de crustáceos se realizó por medio de exoesqueletos o por restos duros como quelas, telson siguiendo la Guía FAO para la identificación (Fischer, 1995).

Considerando el alto grado de digestión que presentaron las presas, para la identificación de los peces se utilizaron los restos de esqueletos encontrados dentro de los estómagos. Utilizando como guía para la identificación los catálogos de peces de Sánchez-Cota (2013) y Soto-Segoviano (2014), así como algunas guías prácticas de campo como la de Fischer (1995) y la colección de esqueletos del Laboratorio de Ecología de Peces del CICIMAR-IPN.

7.3. Análisis cuantitativo

7.3.1. Composición de tallas y sexos de la muestra

Para este análisis se consideró la longitud total de los individuos y en función de esta se realizaron histogramas para saber la distribución de los individuos. De igual manera, se realizó una prueba estadística (PERMANOVA) para saber si en función del sexo había diferencias en las tallas de los individuos, y a partir de esta conformamos grupos de individuos en función de sus tallas.

Para probar si la proporción de hembras y machos fue 1:1 se realizó la corrección de Yates de la prueba de Ji-cuadrada (Zar, 1999), mediante la fórmula:

$$X^2 = \frac{(|FM - FM - 0.5|)^2}{FM} + \frac{(|FH - FH - 0.5|)^2}{FH}$$

donde: X^2 = estadístico de prueba FM = frecuencia observada de machos FM = frecuencia esperada de machos FH = frecuencia observada de hembras FH = frecuencia esperada de hembras.

7.3.2. Estimación del tamaño de muestra

Para determinar si el tamaño de muestras fue adecuado para describir la dieta de *Pseudobatos buthi*, y poder realizar comparaciones entre sexos y grupos de tallas, se construyeron curvas acumulativas de diversidad de especies presas respecto al

número de estómagos analizados (Ferry y Cailli *et al.*, 1996; Wetherbee *et al.*, 2012). Para ello, se calculó el índice de diversidad de Shannon que es el ideal para trabajar con hábitos alimentarios donde generalmente hay presas dominantes y raras (Magurran, 1988). Las curvas se realizaron mediante una serie de procesos aleatorios (Cortés, 1997) usando el programa EstimateS v8.2.0 (Colwell, 2013). Este procedimiento permitió estimar la media y la varianza de cada muestra, permitiéndonos representar gráficamente el número acumulado de presas promedio en cada muestra versus el número de muestras (estómagos) analizados. De igual forma, se pudo calcular el coeficiente de variación (CV), la cual es una medida de dispersión que sirve para confrontar variables que están a distintas escalas, pero están relacionadas estadísticamente (Colwell, 2006). El valor $CV < 0.05$ fue considerado como una homogeneidad considerable en los valores de diversidad, lo que indica que el número de muestras obtenido es suficiente para describir completamente la dieta de *P. buthi*. Esta curva de acumulación se realizó también para todas las categorías a analizar.

7.3.3. Análisis del espectro trófico

Una vez obtenida el número de presas y las especies presas, con el objetivo de cuantificar la importancia de las presas que conformaron la dieta de *P. buthi* se empleó el índice de importancia relativa presa específica (%PSIRI) el cual se encuentra compuesto por los índices de frecuencia de ocurrencia (%FO), abundancia específica numérica (%PN) y gravimétrica (%PW), siguiendo lo propuesto por Brown *et al.* (2012):

Índice de frecuencia de ocurrencia (%FO)

Considera la aparición de una presa específica que se encuentra en un determinado número de estómagos analizados:

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

Dónde:

$\%FO_i$ = Frecuencia de ocurrencia de la presa i , n_i = número de estómagos que contienen la presa i y n = número total de estómagos.

Índice de abundancia específica numérica (%PN) y gravimétrica (%PW)

Considera el porcentaje de abundancia (numérica o gravimétrica) de un tipo de presa promediado sobre los estómagos en que se encontró a dicha presa:

Porcentaje de presa específica ($\%PN_i$, $\%PW_i$):

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

Porcentaje promedio de abundancia ($\%N_i$, $\%W_i$):

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

Donde: $\%A_i$ = Abundancia (número o peso) de la categoría de presa i en el estómago j ; n_i = Número de estómagos con la presa i ; n = Total de estómagos analizados.

Índice de importancia relativa presa específica (%PSIRI)

Las presas más importantes en el análisis de contenidos estomacales se obtuvieron a partir del Índice de Importancia Relativa Presa-Específico (PSIRI, por sus siglas en inglés), propuesto por Brown *et al.*, (2012), que proporciona la cantidad, frecuencia y biomasa de las presas ingeridas por el consumidor en diferentes épocas del año a través del índice numérico, la frecuencia de ocurrencia y el índice gravimétrico. Éste índice, es una modificación del índice de importancia relativa (IRI), que contabiliza las abundancias de las presas específicas con respecto a los estómagos donde estuvieron presentes (Pinkas, 1971). A diferencia del IRI; el PSIRI es aditivo, proporcionando resultados más homogéneos de las medidas relativas de

abundancia del alimento. Adicionalmente al implementar el %PSIRI, se aísla la predisposición del %IIR de sobre enfatizar las presas frecuentes y subestimar las presas raras con respecto al %FO. La fórmula es la siguiente:

$$\%PSIRI_i = \frac{\%FO_i \times (\%PN_i + \%PW_i)}{2}$$

Donde: %PSIRI = Índice de importancia relativa de presa específica; %FO = Porcentaje de ocurrencia; %PN = Porcentaje numérico de presa específico de presa.

De esta manera se calculó el %PSIRI para las dietas generales de *P. buthi* y para las categorías sexo y grupos de tallas.

Por otra parte, se procedió a realizar un análisis de varianza multivariado basado en permutaciones (PERMANOVA, 1,000 permutaciones) con base a una matriz de distancias de disimilitud de Bray-Curtis usando los datos de abundancia de los ítems presa presente en cada estómago (N), con el objetivo de determinar diferencias significativas en los hábitos alimenticios por sexo y grupos de tallas entre los individuos de *P. buthi* (Moreno-Sánchez et al., 2019). El análisis se realizó con el paquete Vegan (v. 2.5-5), del software R.

7.4. Índices ecológicos

Índice estandarizado de Levin's

La amplitud de la dieta de *P. buthi* se evaluó empleando el índice estandarizado de Levin (1968). Siendo organismos “generalistas” aquellos con valores cercanos a 1 y “especialistas” aquellos con valores cercanos a 0 (Krebs, 1989). Por lo tanto, en nuestro estudio valores menores a 0.6 indican que la dieta está dominada por pocas presas, tratándose de un depredador especialista y mayores a 0.6, corresponden a dietas de depredadores generalistas (Moreno *et al.*, 2009; Lara Mendoza, 2016).

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

Dónde: (Bi) = índice estandarizado de Levin para depredador i, (Pij) = proporción de la presa i en la dieta del depredador j, (n) = número de categorías de presa.

El índice será utilizado también específicamente en las muestras por sexo y por grupos de tallas, para conocer si existe algún tipo de especialización en la alimentación por categoría.

Índice de Shannon-Weiner

Para medir la diversidad de presas para cada grupo se utilizó el índice de Shannon-Weiner de acuerdo con lo descrito en Pielou (1975).

$$H' = \sum_{i=1}^s (p_i) \log_2(p_i)$$

Dónde:

p_i representa la fracción numérica de cada individuo representante de i especies.

Modelo de Costello

Para determinar la estrategia de alimentación, se utilizó el modelo de Costello modificado por Amundsen *et al.* (1996) para el análisis de contenidos estomacales. A partir de este modelo podemos explorar la importancia de cada presa, el modo de alimentación de la especie depredadora, así como los componentes individuales de la amplitud del nicho. De igual manera, este método nos permite comprender como ocurre la transferencia de energía entre los diferentes niveles tróficos dentro de los ecosistemas, siendo de gran importancia depredadores marinos como tiburones y rayas que ayudan a regular y estructurar las poblaciones de especies en niveles tróficos inferiores (Rosa-Meza *et al.*, 2013; Stevens *et al.*, 2000). Se procedió a representar gráficamente los componentes en la dieta de *Pseudobatos buthi*, mediante los valores de la frecuencia de ocurrencia (%FO) con respecto a la abundancia específica de los ítems presa (%PN_i). Las gráficas permitieron

establecer los patrones de alimentación (estrategia) individual o poblacional y entre categorías (sexo y grupos de tallas) a analizar (**Fig.4**)

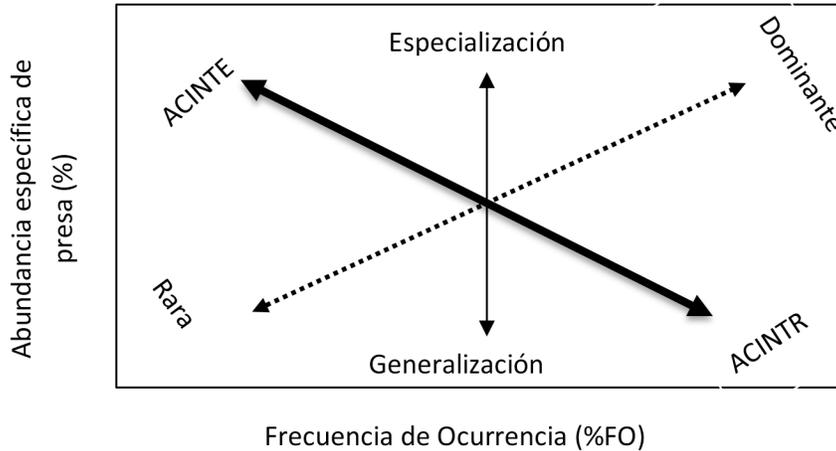


Figura 4: Análisis gráfico de la estrategia alimentaria (Tomado de Amundsen *et al.*, 1996). Eje central: estrategia alimentaria (especialista o generalista). Eje vertical acentuado: utilización del nicho trófico, señala un alto componente interespecífico (ACINTE) o alto componente intraespecífico (ACINTR). Eje vertical punteado, indica la importancia de las presas (dominante o rara) en la dieta.

Nivel trófico

Siguiendo lo propuesto por Christensen y Pauly (1992) y empleando la información obtenida del contenido estomacal se procedió a determinar el nivel trófico para *P. buthi*:

$$NT_i = 1 + \sum_{ji}^n DC_{ij} * NT_j$$

Dónde: NT= Nivel trófico, DC_{ij} = Composición de la dieta, siendo la proporción de la presa (j) en la dieta del depredador (i); n= Número de grupos en el sistema y NT_j = nivel trófico asignado a cada presa.

De igual manera, se utilizaron valores de nivel trófico por presas individuales y por grupos de presas, dichos valores fueron tomados de Cortés (1999) y FishBase en el caso de los peces (**Tabla I**). A su vez, para aquellas presas específicas que no se dispuso información sobre su valor de nivel trófico, fueron agrupadas en categorías taxonómicas superiores.

Tabla 1. Categorías de presas con niveles tróficos (NT_i) establecidos a partir de Cortés (1999) para la determinación del nivel trófico de *P. buthi*

Código	Especies Presa	Nivel Trófico
FISH	Peces teleósteos	3.24
CEPH	Cefalópodos (calamares, pulpos)	3.2
MOL	Moluscos (excluyendo cefalópodos)	2.1
CR	Crustáceos Decápodos (camarones, cangrejos, langostas, gambas)	2.52
INV	Otros invertebrados (todos los invertebrados excepto moluscos, crustáceos y zooplancton)	2.5
ZOO	Zooplancton (mayormente Eufáusidos "Krill")	2.2
BIR	Aves marinas	3.87
REP	Reptiles marinos	2.4
MAM	Mamíferos marinos	4.02
CHON	Peces cartilagosos (tiburones, rayas, guitarras y quimeras)	3.65
PL	Plantas (plantas marinas y algas)	1

8. Resultados

8.1. Composición de tallas y sexo

Se analizó un total de 119 organismos de *Pseudobatos buthi*, con un intervalo de tallas desde 42 cm hasta los 101 cm de longitud total (LT), con un promedio de talla de 68.8 cm LT (± 8.9 DE). Las hembras representaron el 53% de los individuos, con un promedio de 71.9 cm LT (± 10.7) y los machos el 47%, con un promedio de talla de 65.2 cm LT (± 3.6 DE). De igual manera, la talla más pequeña y mayor ocurrió en las hembras con 42 cm y 101 cm de LT, respectivamente. En los machos, la talla más pequeña fue 58 cm LT y la más grande fue 74 cm LT (**Fig.5**).

Hay que mencionar que no se contó con individuos juveniles; para el caso de los machos, la talla más pequeña (58 cm LT) fue un individuo maduro con un grado de calcificación del gonopterigio de grado 2 (**Fig.6a**). Por ello, al realizar la prueba estadística PERMANOVA obtuvimos diferencias significativas ($F= 20.35$, $p=0.0001$) entre las tallas de los individuos en función del sexo (**Fig.6**), por lo que se conformaron dos grupos de individuos adultos en función de las tallas y siguiendo los criterios de Talent (1982) donde los individuos de mayor talla tenderán a buscar especies presas de mayor tamaño, mientras que, los individuos de la población de menor tamaño tendrán una preferencia alimentaria por presas pequeñas. El G1 se conformó por los individuos con tallas desde los 42 a 67 cm LT y el G2 se conformó por individuos desde 68 a 101 cm LT (**Fig.6b**).

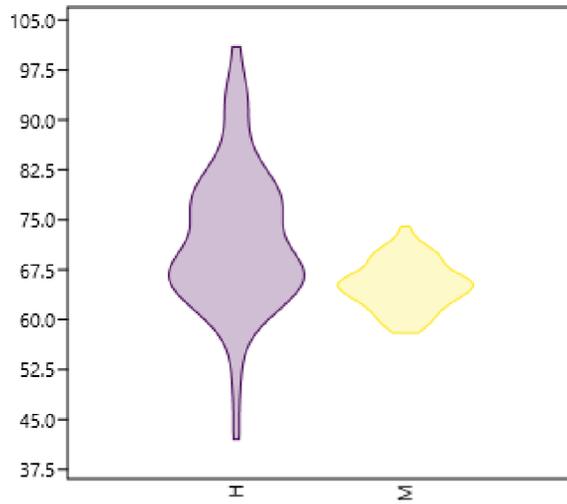


Figura 5: Longitud total (cm) de tallas para hembras (H) y machos (M), dónde se observan diferencias de estas en función del sexo ($F= 20.35, p=0.0001$).

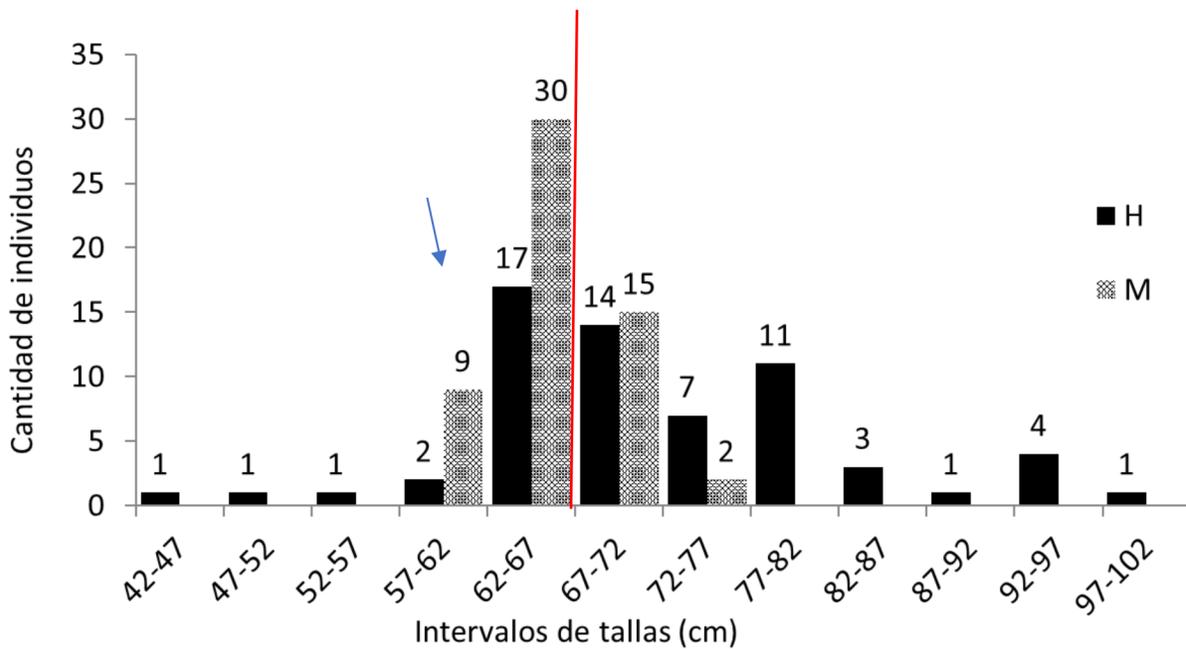


Figura 6: Histogramas de distribución de tallas para las muestras de contenido estomacal de *Pseudobatos buthi*. a) La flecha azul indica la ubicación del macho maduro más pequeño. b) La línea roja indica la separación de los grupos de individuos en función de sus tallas.

La proporción de machos y hembra para *P. buthi* en Santa Rosalía presentó mayor cantidad de hembras que de machos en una proporción 3:1 ($p < 0.05$) (**Tabla 2**).

Tabla 2. Proporción de machos y hembras de *Pseudobatos buthi* en la localidad de Santa Rosalía del Golfo de California.

Sexo	Frecuencia observada	Frecuencia esperada	X ²	X ² Total
H	63	59.5	0.2	0.3
M	56	59.5	0.2	

8.2. Análisis cualitativo

De los 119 estómagos analizados de *P. buthi*, 66 presentaban alimento (55%) y 53 estaban vacíos (45%) (**Fig.7**). De igual manera, al clasificar los estómagos con su porcentaje de llenado, obtuvimos 47 estómagos en categoría 1 (71%), 9 en categoría 2 (14%), 4 en categoría 3 (6%) y 6 en categoría 4 (9%) (**Fig.8**).

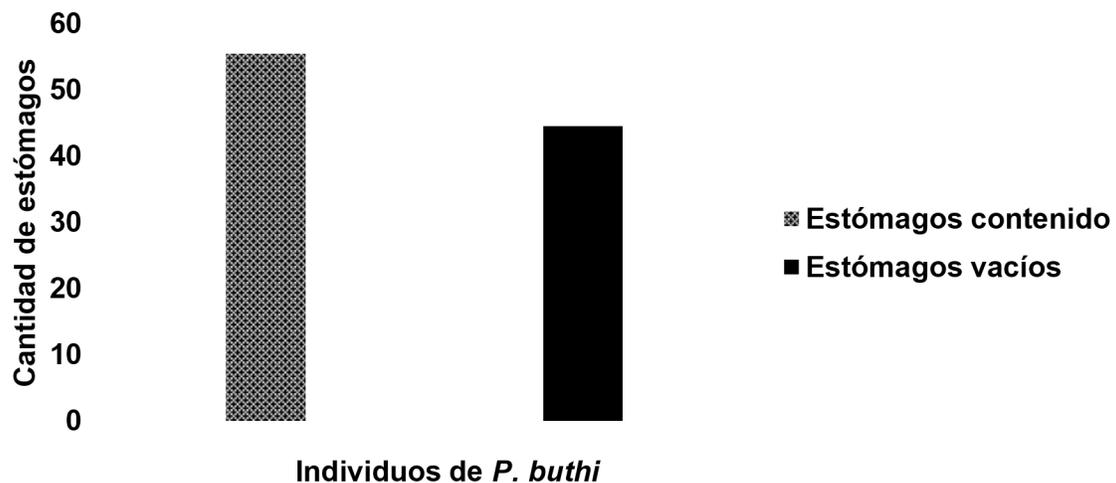


Figura 7: Cantidad de estómagos con contenido y vacíos de *P. buthi* en Santa Rosalía, B.C.S.

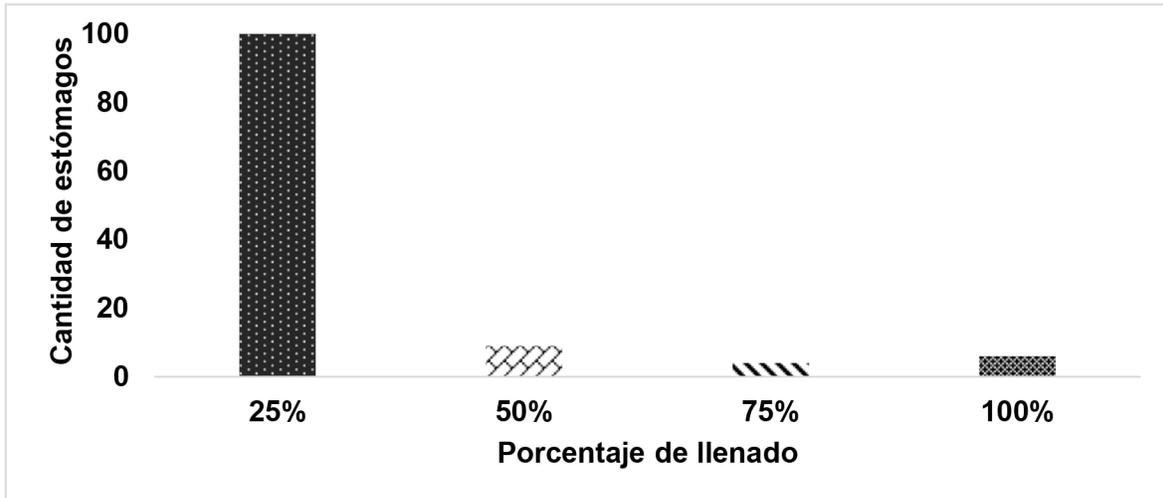


Figura 8: Clasificación de los estómagos de acorde a su porcentaje de llenado.

A su vez, al clasificar las especies presas encontradas en los estómagos de *P. buthi*, según su grado de digestión, obtuvimos que la categoría con mayores componentes alimentarios fue la categoría 3 (78.6%) seguido de la categoría 4(19.8%) y por último la categoría 2(1.6%) (**Fig.9**)

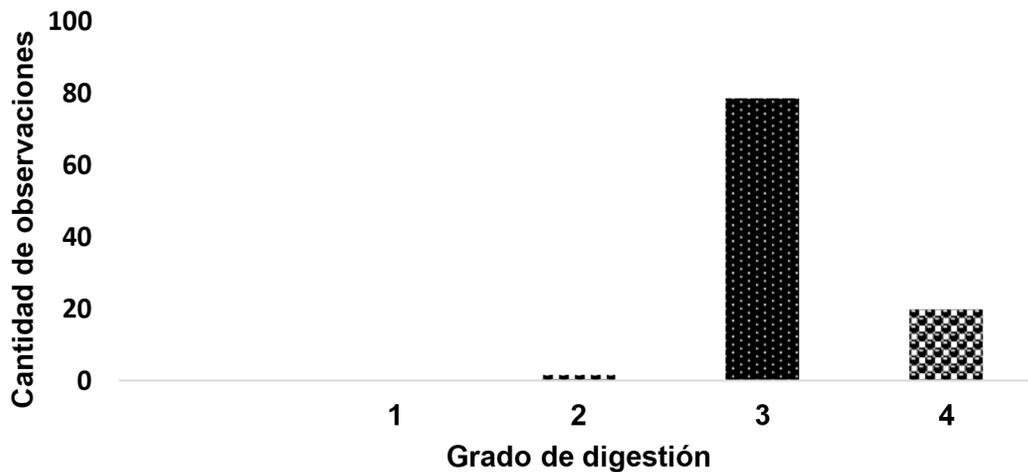


Figura 9: Clasificación de las especies presas encontradas en los estómagos de *Pseudobatos buthi* de acorde a su grado de digestión.

8.3. Análisis cuantitativo de la dieta

La curva de diversidad acumulada de especies (Pielou 1975) nos arrojó que el número de estómagos con alimento analizados fue suficiente para caracterizar el espectro trófico general de *P. buthi*, ya que se alcanzó un coeficiente de variación (CV) menor al 0.05 (**Fig. 10**). A su vez, al realizar las curvas de acumulación en función del sexo (**Fig. 11**) se observó de igual manera en las hembras un coeficiente de variación (CV) menor al 0.05 en los 16 estómagos, mientras que para los machos se obtuvo en los 28 estómagos, por lo que se tiene bien representado el espectro trófico de *P. buthi*. A su vez, para los grupos de tallas se pudo observar que en el caso del grupo1 (individuos de 42-67cm (LT)) al alcanzar los 29 estómagos, el coeficiente de variación (CV) fue menor al 0.05, mientras que el grupo 2 (individuos de 68-101cm (LT)) lo alcanzó en los 24 estómagos. Lo que demostró que en ambos casos la dieta para ambos grupos está bien representada (**Fig. 12**).

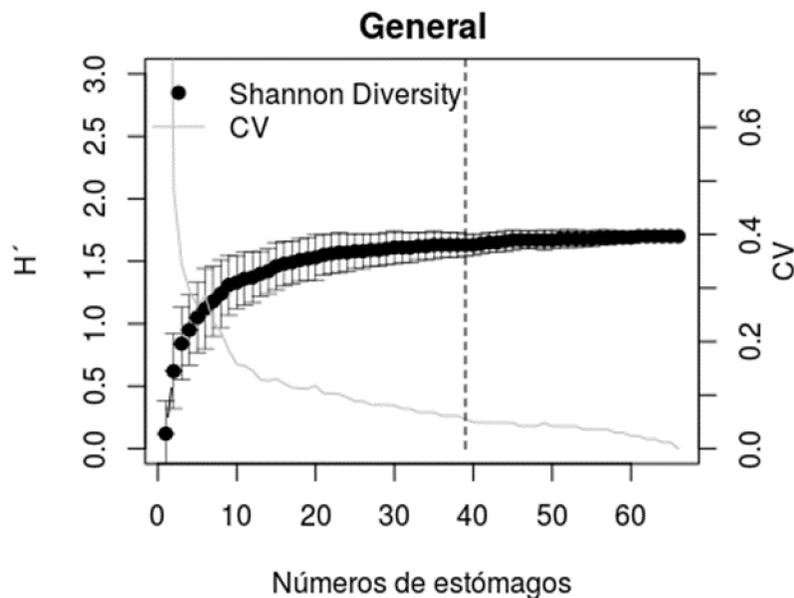


Figura 10. Curva de acumulación de H' para contenido estomacal de *P. buthi*, donde los puntos negros son la diversidad acumulada, la línea gris es el Coeficiente de Variación y la línea gris punteada representa donde se alcanzó la representatividad de

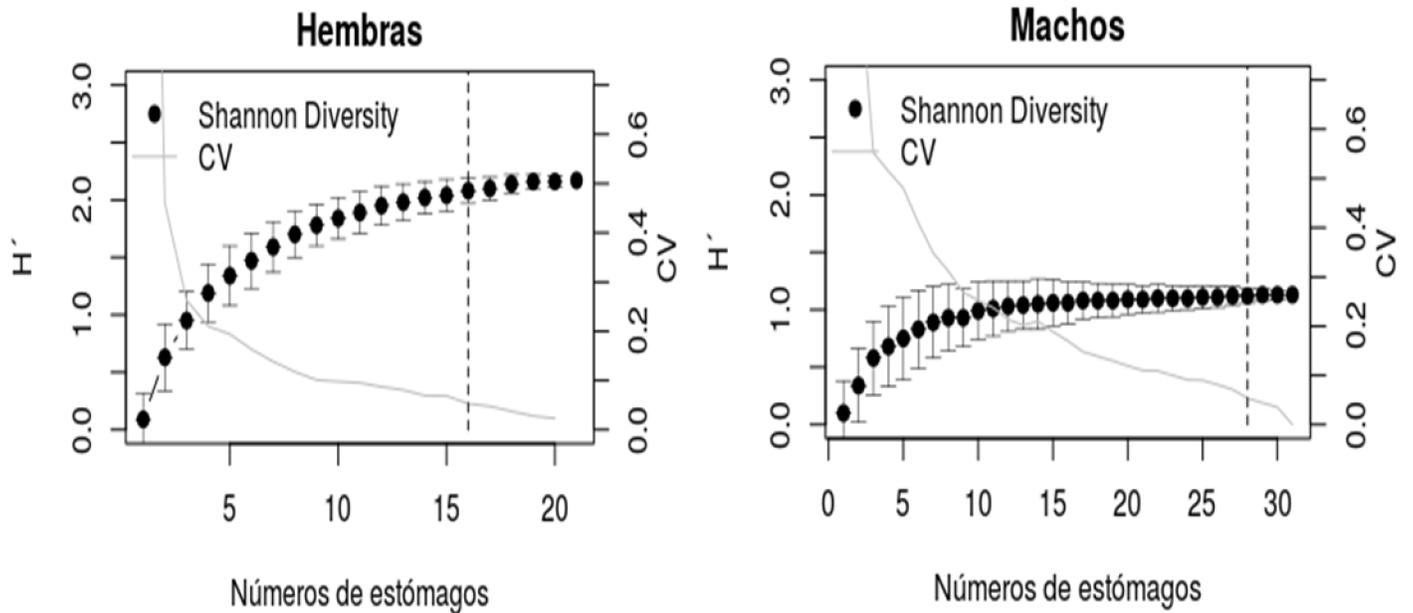


Figura 11: Curva de acumulación por sexo de *P. buthi*, dónde los puntos negros son la diversidad acumulada, la línea gris es el Coeficiente de Variación y la línea gris punteada representa donde se alcanzó la representatividad de la dieta.

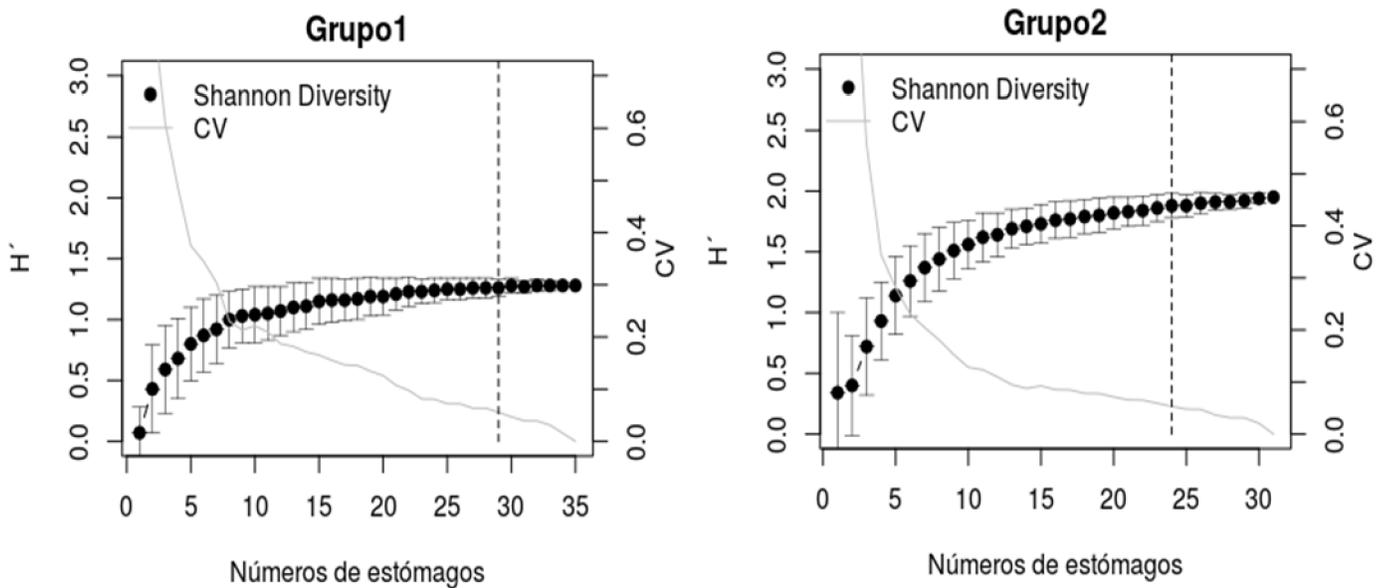


Figura 12: Curva de acumulación por grupos de tallas de *P. buthi*, dónde los puntos negros son la diversidad acumulada, la línea gris es el Coeficiente de Variación y la línea gris punteada representa donde se alcanzó la representatividad de la dieta.

8.3.1. Análisis del espectro trófico

A través del análisis de contenidos estomacales, el espectro trófico de *P. buthi* estuvo compuesto por 8 ítems presas. Las presas pertenecieron a tres grupos taxonómicos principales, crustáceos, moluscos y peces. El grupo taxonómico mejor representado en la dieta fueron los crustáceos con 81%, seguido de los moluscos con 17% y los peces con 10%. La especie mejor representada fue la langostilla *Pleuroncodes planipes* (35.7%), seguida del estomatópodo *Squilla bigelowi* (11.9%) y los neogastrópodos (9.1%) (**Tabla 3**).

La especie presa con mayor aporte a la biomasa fueron los camarones peneidos (32.7%), seguida por la langostilla *P. planipes* (14.1%) y el estomatópodo *S. bigelowi* (9.3%). De igual manera, *P. planipes* pasó a ser la especie presa más frecuente en los estómagos de *P. buthi* (18.2%), seguida *S. bigelowi* (15.2%) y por último los camarones peneidos (4.6%) respectivamente.

Dado que cada índice de dieta resalta la especie presa más importante en función de sus especificidades, se procedió a determinar a través del %PSIRI, la especie presa de mayor importancia en la dieta. Éste índice arrojó que, dentro del grupo de los crustáceos, la langostilla *P. planipes* fue el ítem presa que más contribuyó a la dieta de la raya guitarra *P. buti* (16.3%), seguido del estomatópodo *S. bigelowi* (11.5%), y posteriormente camarones peneidos (4.6%) (**Fig. 13**).

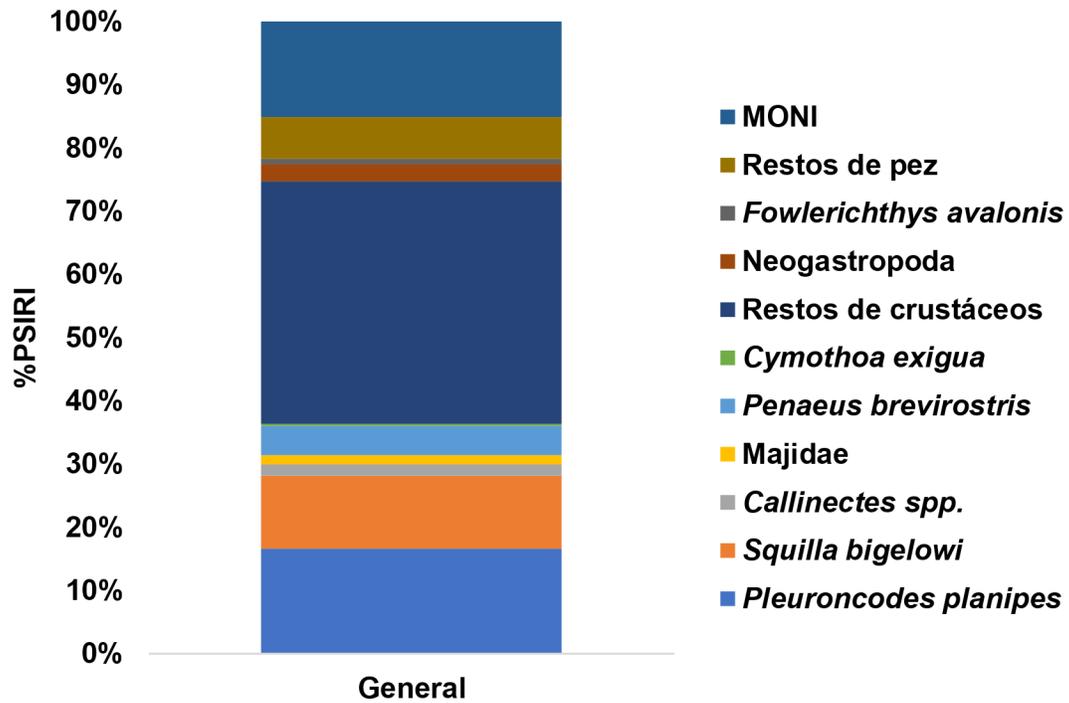


Figura 13: Índice de Importancia de Presa Especifica (% PSIRI) de la guitarra *P. buthi* en Santa Rosalía, B.C.S.

Tabla 3. Espectro trófico de *Pseudobatos buthi* expresado en los índices de dieta; índice numérico (%N), gravimétrico (%W) con abundancia presa específica (%PNi y PWi, respectivamente), frecuencia de ocurrencia (%FO), e índice de importancia presa específica (%PSIRI).

Tipos de presas	%N	%PNi	%W	%Pwi	%FO	%PSIRI
Arthropoda						
Malacostraca						
Decapoda						
Penaeidea						
<i>Penaeus brevis</i>	2.1	100	34.5	100	4.6	4.6
Munididae						
<i>Pleuroncodes planipes</i>	35.6	92.3	14.1	90.5	18.2	16.6
Majidae	0.7	100	1.8	100	1.5	1.5
Stomatopoda						
Squillidae						
<i>Squilla bigelowi</i>	11.9	75	9.3	76.7	15.2	11.5
Brachyura						
Portunidae						
<i>Callinectes spp.</i>	2.1	60	0.6	58.3	3	1.8
Isopoda						
Cymothoidae						
<i>Cymothoa exigua</i>	2.1	42.9	0.1	3.1	1.5	0.4
Restos de crustáceos	23.1	96.2	18.8	98.6	39.4	38.4
Mollusca						
Neogastropoda	9.1	90	2	91.7	3	2.8
Actinopterygii						
Antennariidae						
<i>Fowlerichthys avalonis</i>	0.7	50	1.2	59.1	1.5	0.8
Restos de peces	5.6	75	13.1	70.3	9.1	6.6

8.3.2 Espectro trófico de *P. buthi* por sexo

El espectro trófico en función del sexo fue diferente para las hembras con respecto a los machos. En las hembras se tuvo la presencia de crustáceos, moluscos y peces. En los machos solo se observaron crustáceos y peces (**Fig. 14**).

De acuerdo con el índice de importancia presa específica (%PSIRI), la dieta de las hembras se constituyó de siete presas principales, las cuales aportaron el 40.9 % del total del %PSIRI, más restos de crustáceos y peces que aportaron el 39.1 %PSIRI y la materia orgánica no identificada (MONI) que aportó un 20 %PSIRI respectivamente. Su dieta principal estuvo basada en pequeños crustáceos siendo el estomatópodo *S. bigelowi* la presa principal con un 13.3 %PSIRI, seguido de la

langostilla *P. planipes* 9.8% PSIRI y por último camarones peneidos con un 5.7% PSIRI (Fig.14).

La dieta de los machos estuvo conformada principalmente de cuatro especies presas alcanzando un 38.7 %PSIRI, más restos de crustáceos y peces que alcanzaron el 51.6 %PSIRI y la materia orgánica no identificada (MONI) que aportó un 9.7 %PSIRI respectivamente. El grupo taxonómico predominante fueron los crustáceos al igual que en las hembras, sin embargo, la especie presa principal con mayor aporte al PSIRI fue la langostilla *P. planipes* con un 24.3 %, seguido de *S. bigelowi* 9.4% PSIRI y camarones peneidos 3.2% PSIRI respectivamente (Fig.14).

Es importante mencionar, a pesar de que las hembras mantuvieron una mayor diversidad de especies presas en su dieta con respecto a los machos y la especie presa principal fue distinta para ambos sexos, no se evidenciaron diferencias significativas en el espectro trófico en función de la abundancia según el PERMANOVA (F =0.0023 p=0.97).

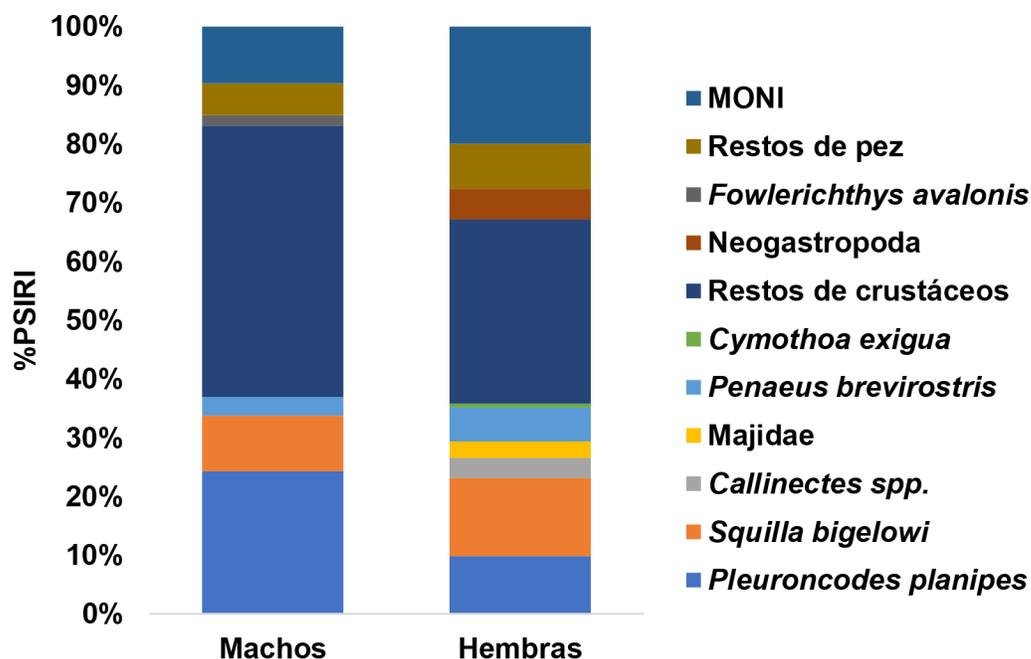


Figura14: Índice de Importancia de Presa Especifica (% PSIRI) por sexo de la guitarra *P. buthi* en Santa Rosalía, B.C.S.

8.3.3. Espectro trófico de *P. buthi* por grupos de tallas

El espectro trófico por grupos de tallas siguió el mismo patrón por sexo. Los individuos del G1 (42-67 cm LT) mantuvieron su dieta a base de pequeños crustáceos y peces. Mientras que, los individuos del G2 (68-101 cm LT) presentaron un espectro más amplio (crustáceos, moluscos y peces). En ambos grupos, los crustáceos fueron la presa principal alcanzando el G1 81.3% PSIRI y el G2 67.6% PSIRI, respectivamente.

La dieta de los individuos del G1 se constituyó de dos presas principales, las cuales aportaron el 23.0% del total del %PSIRI, más restos de crustáceos y peces que aportaron el 58.8 %PSIRI y la materia orgánica no identificada (MONI) que aportó un 17.7%PSIRI. Su dieta principal estuvo basada en pequeños crustáceos, la langostilla *P. planipes* fue la presa principal con un 18.2%PSIRI, seguido del estomatópodo *S. bigelowi* 5.3%PSIRI (**Fig.15**).

Los individuos del G2 su espectro trófico estuvo conformado por ocho especies presas, las cuales alcanzaron el 57.3% del total del %PSIRI, más restos de crustáceos y peces que alcanzaron un 13.1%PSIRI y la MONI que alcanzó un 14.9%PSIRI. El espectro trófico del G2 fue más diverso con respecto al G1, evidenciándose una mayor riqueza de ítems presas. Esta diferencia se presentó principalmente debido al consumo de presas secundarias. La especie presa principal según el %PSIRI fue el estomatópodo *S. bigelowi* 18.1%PSIRI, seguido de la langostilla *P. planipes* 14.9%PSIRI, camarones peneidos 9.4%PSIRI y moluscos 5.7%PSIRI (**Fig.15**).