



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ciencias Naturales

**“Contenido estomacal del tiburón Sulfin *Galeorhinus galeus*
(Triakidae) en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México”**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Licenciado en Biología

Presenta

Alan Heriberto Delgado Ramos

Dirigido por

M. en C. María del Rosario Simental Anguiano

Querétaro, Qro. 7 octubre del 2020



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ciencias Naturales

Licenciatura en Biología

**“Contenido estomacal del tiburón Sulfin *Galeorhinus galeus* (Triakidae)
en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México”**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Licenciado en Biología

Presenta

Alan Heriberto Delgado Ramos

Dirigido por

M. en C. María del Rosario Simental Anguiano

Asesor: **Dr. Marco Antonio Sánchez Ramos**

Asesor: **Dra. Mónica Elisa Queijeiro Bolaños**

Asesor: **Dr. Rubén Pineda López**

Centro Universitario, Querétaro, Qro. 7 octubre 2020, México.

Dedicatoria.

A mi familia, por ser el resguardo que a veces se necesita cuando uno persigue la vida. Por estar siempre ahí para volver y tocar base antes de continuar. Por compartir las alegrías y las tristezas y crecer junto conmigo.

A mis padres, Isaura Ramos y Heriberto Delgado, por el constante apoyo en todos los aspectos que han representado el salir de casa a buscar los sueños. Por acompañarme a lo largo de esta travesía y por creer más de lo que yo a veces creo en mí. Por tener siempre una frase de admiración, un abrazo de motivación, un regaño aleccionador y un montón de amor para dar. Sin ustedes no estaría donde estoy, yendo a donde voy.

A mi primo Iván Sosa, por darme aquel empujón que marcaría el inicio de una gran historia. Eres un ser admirable, un gran amigo, incondicional asesor y una enorme inspiración. Por ese ayer, buscando bichos entre las rocas... por ese hoy, buscando respuestas entre los libros.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma de Querétaro, por ser la casa de estudios donde me formé como estudiante y como biólogo.

Al Dr. Marco Sánchez por sentar las bases de la locura que hoy acompaña a mi forma de percibir la vida. Por enseñarme que ninguna respuesta será suficiente cuando uno no hace las preguntas indicadas. Por mostrarme que la ciencia sin compartir el conocimiento no es ciencia. Te admiro y te agradezco el gran aporte a mi formación.

A los profesores que me contagiaron de esa pasión que trasciende, esa que no distingue entre el Precámbrico y el Holoceno, que es autótrofa y heterótrofa, que vive en el subsuelo y en un asteroide. Aquella que define la vida y al mismo tiempo no cree en las definiciones...esa pasión que hoy me mueve.

A la Universidad Autónoma de Baja California Sur por recibirme aquel semestre que me perfiló en dirección hacia mi nicho en la ciencia.

Al Dr. Felipe Galván y a todos los miembros del Laboratorio de Ecología de Peces en el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN), por recibirme amablemente y mostrarme una probadita del área de investigación que hoy me dispongo a perseguir. Por todo el aprendizaje compartido y la posibilidad de integrarme a su proyecto.

A la M. en C. María del Rosario Simental, por el apoyo y dirección en la construcción del trabajo que hoy hace posible mi titulación.

A mis asesores Mónica Queijeiro y Rubén Pineda por su consejo y gran apoyo en este proceso que sienta mis bases en la investigación.

A mis compañeros de generación por vivir a mi lado esta gran transformación. A los de un tramo y a los de todo el viaje. A los que llamo colegas, a los que llamo amigos y a los que llamo Familia.

A Toki Sushi por abrirme los brazos y dejarme terminar mi licenciatura de la forma en que lo hice. Por brindarme un empleo que se ha vuelto un hogar donde he aprendido tanto. Por nutrirme con experiencias y grandes personas que hoy atesoro. Gracias a Rosana Amador por hacer todo eso posible, por ser un humano admirable, la mejor empleadora que podría describir y por convertirse en parte de la familia que uno escoge.

Gracias a mi Círculo de la Salud y a toda la energía, las risas, el apoyo, las tonterías y los tesoros de vida que me aporta siempre cada uno de sus miembros.

A mis amigos de aquí y de allá...A los viejitos de León, a los nuevos de Querétaro, a los Biólogos, a los Tokis, a los Paceños. A todo aquel que ha dejado algo de sí en el humano que hoy escribe estas líneas... ¡GRACIAS!

Índice de contenido

1	Índice de Figuras.....	1
2	Índice de Tablas.....	3
3	Glosario.....	4
4	Resumen.....	1
5	Abstract.....	2
6	Introducción.....	3
7	Justificación.....	7
8	Objetivos.....	8
8.1	Objetivo General.....	8
8.2	Objetivos Particulares.....	8
9	Materiales y métodos.....	9
9.1	Lugar de estudio.....	9
9.2	Colecta.....	10
9.3	Trabajo de laboratorio.....	11
9.4	Análisis de datos.....	12
9.4.1	Representatividad del muestreo.....	12
9.4.2	Espectro Trófico.....	12
9.4.3	Amplitud Trófica.....	14
9.4.4	Estrategia alimentaria de Amundsen.....	15
9.4.5	Traslape Trófico.....	16
9.4.6	Nivel Trófico.....	18
10	Resultados.....	19
10.1	Representatividad del muestreo.....	19
10.1.1	Curvas de acumulación de especies.....	20
10.2	Estados de digestión.....	22
10.3	Espectro Trófico.....	23
10.3.1	Espectro trófico general.....	23
10.3.2	Espectro trófico por estadio de madurez.....	25

10.3.3	Espectro trófico por sexos.....	29
10.4	Amplitud trófica	33
10.4.1	Índice de Levins	33
10.5	Estrategia alimentaria de Amundsen	34
10.5.1	Índice de Amundsen General	34
10.5.2	Índice de Amundsen por sexo y por estadio de madurez.....	35
10.6	Traslape trófico.....	35
10.6.1	Análisis de similitud (ANOSIM)	35
10.6.2	Morisita-Horn.....	36
10.7	Nivel trófico	36
11	Discusión	38
11.1	Estados de digestión	38
11.2	Espectro Trófico	39
11.3	Amplitud trófica y estrategia alimentaria	41
11.4	Traslape trófico.....	43
11.5	Nivel trófico	43
12	Conclusiones.....	44
13	Recomendaciones	45
14	Literatura citada.....	46
15	Anexo 1.....	53
16	Anexo 2.....	54
17	Anexo 3.....	55

1 Índice de Figuras

Figura 1. Vista lateral de un ejemplar hembra de <i>Galeorhinus galeus</i>	3
Figura 2. Área de estudio, Bahía Tortugas y sitios aledaños de colecta en Baja California Sur, México (Bernal, 2017).....	10
Figura 3. Estrategia alimentaria de un depredador a partir del cálculo de la abundancia específica para cada presa identificada (Amundsen <i>et al.</i> , 1996).	15
Figura 4. Ejemplos de estrategias alimentarias: a) Especialización en distintos tipos de presas, b) Dieta más generalizada y superior dentro de la variación individual en la amplitud de la dieta, C) Especialización por un sólo tipo de presa, mostrando consumo ocasional de otras presas, d) Estrategia mixta, algunos individuos especialistas y otros generalistas (Torres-Rojas, 2011).	16
Figura 5. Curva general de acumulación de especies presa para <i>Galeorhinus galeus</i> , en Bahía Tortugas, B.C.S., México. Esferas azules: Diversidad acumulada de Shannon con su desviación estándar, Cuadrados rojos: C.V.....	20
Figura 6. Curva de acumulación de especies presa para <i>Galeorhinus galeus</i> , en Bahía Tortugas, B.C.S., México. Por estadio de madurez: a) Juveniles, b) Adultos. Esferas azules: Diversidad acumulada de Shannon con su desviación estándar, Cuadrados rojos: C.V.....	21
Figura 7. Curva de acumulación de especies presa para <i>Galeorhinus galeus</i> , en Bahía Tortugas, B.C.S., México. Por sexo: a) Hembras, b) Machos. Esferas azules: Diversidad acumulada de Shannon con su desviación estándar, Cuadrados rojos: C.V.	22
Figura 8. Espectro trófico general de <i>Galeorhinus galeus</i> por el método Numérico (%N) para Bahía Tortugas, B.C.S., México.....	23
Figura 9. Espectro trófico general de <i>Galeorhinus galeus</i> por el método Gravimétrico (%G) para Bahía Tortugas, B.C.S., México.....	24

Figura 10. Espectro trófico general de <i>Galeorhinus galeus</i> por el método de Frecuencia de Aparición para Bahía Tortugas, B.C.S., México.....	24
Figura 11. Índice de importancia relativa (%IIR) en la dieta general de <i>Galeorhinus galeus</i> en Bahía Tortugas, B.C.S., México.....	25
Figura 12. Espectro trófico de <i>Galeorhinus galeus</i> por estadios de madurez según el método Numérico (%N) en Bahía Tortugas, B.C.S., México.....	26
Figura 13. Espectro trófico de <i>Galeorhinus galeus</i> por estadio de madurez según el método Gravimétrico Bahía Tortugas, B.C.S., México.	27
Figura 14. Espectro trófico de <i>Galeorhinus galeus</i> por estadio de madurez según el método de Frecuencia de Aparición en Bahía Tortugas, B.C.S., México.....	28
Figura 15. Índice de importancia relativa en la dieta de <i>Galeorhinus galeus</i> por estadio de madurez en Bahía Tortugas, B.C.S., México.....	29
Figura 16. Espectro trófico de <i>Galeorhinus galeus</i> por sexos según el método Numérico (%N) Bahía Tortugas, B.C.S., México.	30
Figura 17. Espectro trófico de <i>Galeorhinus galeus</i> por sexos según el método Gravimétrico para Bahía Tortugas, B.C.S., México.....	31
Figura 18. Espectro trófico de <i>Galeorhinus galeus</i> por sexos según el método de Frecuencia de Aparición para Bahía Tortugas, B.C.S., México.	32
Figura 19. Índice de Importancia Relativa en la dieta de <i>Galeorhinus galeus</i> por sexos para Bahía Tortugas, B.C.S., México.	33
Figura 20. Amplitud trófica para <i>Galeorhinus galeus</i> en Bahía Tortugas, B.C.S., México, por estadio de madurez y por sexos, a partir del índice de Levins. Valores entre 0 y 0.6 indican una dieta especialista mientras que valores mayores a 0.6 indican una dieta generalista.	34

Figura 21. Estrategia alimentaria de <i>Galeorhinus galeus</i> en Bahía Tortugas, B.C.S., México.....	34
--	-----------

Figura 22. Estrategia alimentaria de <i>Galeorhinus galeus</i> en Bahía Tortugas, B.C.S., México, por estadio de madurez y por sexos: a)Machos, b)Hembras, c)Adultos y d)Juveniles.	35
---	-----------

2 Índice de Tablas

Tabla 1. Descripción de los estados de digestión de presas (Galván-Magaña, 1999).....	11
--	-----------

Tabla 2. Descripción de los valores de Nivel Trófico según su respectivo tipo de alimentación (Trujillo-Olvera, 2015).	19
--	-----------

Tabla 3. Índice Morisita-Horn para la determinación del traslapo trófico entre los grupos de análisis por estadio de madurez y por sexos de <i>G. galeus</i> en Bahía Tortugas, B.C.S., México.....	36
--	-----------

Tabla 4. Posición trófica de <i>Galeorhinus galeus</i> en Bahía Tortugas, B.C.S., México, calculada de forma general, por estadio de madurez y por sexos.	37
---	-----------

Tabla 6. Espectro trófico de <i>Galeorhinus galeus</i> por Estadio de madurez (Adultos: A, Juveniles: J) en Bahía Tortugas, B.C.S. Método numérico (N%), método gravimétrico (%G), método de frecuencia de aparición (%F.A.), índice de importancia relativa (%IIR). ;Error! Marcador no definido.	
--	--

Tabla 7. Espectro trófico de <i>Galeorhinus galeus</i> por Sexo en Bahía Tortugas, B.C.S. Método numérico (N%), método gravimétrico (%G), método de frecuencia de aparición (%F.A.), índice de importancia relativa (%IIR). ;Error! Marcador no definido.	
---	--

3 Glosario

Amplitud trófica: El grado de similitud entre los recursos usados por los miembros de una población y la disponibilidad total de dichos recursos en el ecosistema (Feinsinger & Spears, 2012).

Demersal: organismos que habitan las zonas cercanas al fondo marino (Bergstad, 2009).

Espectro trófico: El total de componentes alimenticios en la dieta de un organismo (Day, Hall, Kem, & Yañez-Aranciba, 1989).

Estrategia alimentaria: El complejo descriptivo de la forma en la que un organismo obtiene alimento, partiendo de sus características fisiológicas y de comportamiento (Schoener, 1971).

Índice de importancia relativa (IIR): Es la combinación de las relaciones obtenidas por los métodos volumétrico, numérico y de frecuencia en el cálculo del espectro trófico de un individuo.

Nivel trófico: La posición de una especie en la red o cadena trófica, es decir, su nivel de alimentación con respecto a la forma en la que obtiene su energía (Curtis *et al.*, 2008).

Pelágico: organismos que habitan la columna de agua no asociados al fondo ni a la costa (NOAA, 2020)

Piscívoro: Que se alimenta principalmente de peces (RAE, 2020).

Red trófica: Conjunto de interacciones entre los organismos, que incluye a los productores, los consumidores de varios niveles (Herbívoros, y carnívoros) y los detritívoros, a través de los cuales fluye la energía y circulan los materiales dentro de una comunidad o ecosistema (Curtis *et al.*, 2008).

Traslapo trófico: El aprovechamiento de un mismo recurso o recursos por dos o más grupos intra o interespecíficos de organismos (Colwell & Futuyma, 2017).

4 Resumen

Los análisis de contenido estomacal son una herramienta valiosa en el estudio de la ecología trófica de un organismo. Hasta este momento, ha sido poca la información generada con respecto al impacto trófico del tiburón Sulfin (*Galeorhinus galeus*) en aguas del Pacífico Mexicano. Dado que esta es una especie de interés para las pesquerías mexicanas, se propone por medio de este estudio, abrir un primer acercamiento a su rol ecológico al tratar de describir su dieta en Bahía Tortugas, Baja California Sur y sus alrededores. Se revisó el contenido estomacal de 49 especímenes provenientes de la pesca comercial para identificar taxonómicamente a todas las presas de su interior y proceder a analizar sus hábitos alimentarios. Se describió el espectro trófico por los métodos numérico, gravimétrico y de frecuencia de aparición, así como el análisis de Índice de importancia relativa (IIR) (Cortés, 1997; Hyslop, 1980). *G. galeus* demostró ser un depredador principalmente piscívoro (IIR= 96.87% para teleósteos), con una estrategia alimentaria especializada por el consumo de *Synodus* sp. (IIR mayor al 60% en todos los grupos de análisis) y consumiendo ocasionalmente de otras especies. Según los datos obtenidos, en el área de estudio no existe una segregación alimentaria por estratos de análisis, por lo que la composición de la dieta de esta especie parece ser muy similar sin importar el sexo o el estadio de madurez.

El nivel trófico calculado para *G. galeus* en el área de estudio es de 4.92, estableciéndolo como un depredador carnívoro de alto nivel en su ecosistema. Al realizar el cálculo por estratos de análisis, el valor más bajo obtenido fue de 4.89 para los especímenes adultos, mientras que el más alto fue de 5.01 para las hembras.

Palabras clave: Contenido estomacal, hábitos alimentarios, espectro trófico, nivel trófico.

5 Abstract

The stomach content analysis are a valuable tool in trophic ecology studies. There is a small amount of information regarding the trophic impact of Sulfin shark (*Galeorhinus galeus*) in Mexican waters of the Pacific Ocean. Knowing that *G. galeus* is important for the fishing industry in México, we propose to settle a new approach to the ecological role of this species by trying to describe his diet in Bahía Tortugas, Baja California Sur and its surroundings. In this study, stomach content of 49 individuals collected by commercial fishing was revised and preys contained were taxonomically identified in order to describe feeding habits. Trophic spectre was described using the Numerical, Gravimetric and Frequency of Occurrence methods. Relative importance Index was also calculated (Cortés, 1997; Hyslop, 1980) *G. galeus* showed to be a mainly piscivorous shark (Relative importance index=96.87% for teleostei) specialized for consuming *Synodus* sp., which showed a RII> 60% in every group of analysis and with occasional feeding on other species. According to data obtained, the study area does not show any feeding segregation by sex or maturity stage.

Trophic level calculated for *G. galeus* in the study area was 4.92, placing it as a carnivore predator of high level in the ecosystem. The lowest trophic level calculated within the groups of analysis of *G. galeus* was 4.89 for adult individuals and the highest value was 5.01 for females.

Key words: Stomach content, feeding habits, trophic spectre, trophic level.

6 Introducción

Actualmente, se conocen poco más de 500 especies de tiburones (Ebert *et al.*, 2013), los cuales forman parte de un grupo de peces cartilagosos llamado Elasmobranchii. En esta clasificación encontramos dos infraclases: Las rayas (Batoidea) y los Tiburones (Selachii)(WoRMS, 2020). Las rayas, son organismos caracterizados por tener un cuerpo comprimido dorsoventralmente, las aletas pectorales fusionadas con la cabeza y las hendiduras branquiales posicionadas ventralmente (Carrier *et al.*, 2012). Los tiburones por otra parte, presentan un cuerpo fusiforme, las aletas pectorales no fusionadas con la cabeza y las hendiduras branquiales dispuestas lateralmente (Nelson, 2006).

La familia Triakidae, es una de las más grandes en el grupo de los elasmobranquios, con 46 especies (WoRMS, 2020). Dentro de esta familia, los dos géneros de mayor importancia pesquera son *Galeorhinus*, un género de aguas templadas a subtropicales, y *Mustelus*, de aguas templadas a tropicales (Compagno *et al.*, 2005). Dentro del género *Galeorhinus*, se encuentra *Galeorhinus galeus* (**Fig.1**), el cual tiene una talla máxima de 195 cm, con un cuerpo moderadamente alargado. Su cabeza es achatada y el hocico relativamente largo. Las dos últimas hendiduras branquiales, se sitúan por encima de las bases de las aletas pectorales. Presenta ojos ovalados horizontalmente y posicionados lateralmente, dientes pequeños, iguales en ambas mandíbulas, comprimidos y laminares. La segunda aleta dorsal es igual o casi tan grande como la aleta anal. Presenta en la aleta caudal un lóbulo ventral muy fuerte y un lóbulo terminal muy largo (Compagno, 1984).

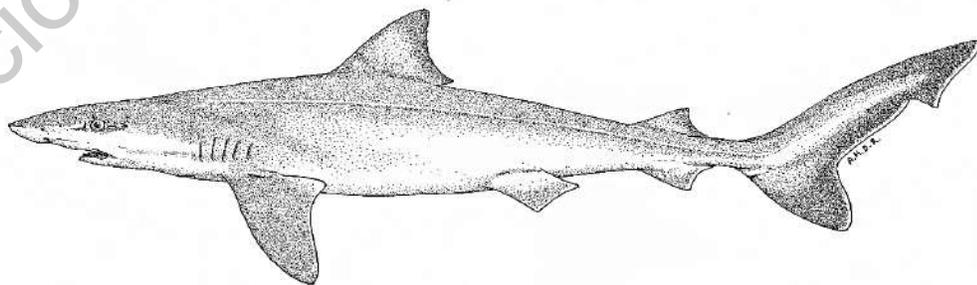


Figura 1. Vista lateral de un ejemplar hembra de *Galeorhinus galeus*.

G. galeus, es un tiburón de hábitos demersales, es decir, vive asociado con el fondo del mar, cerca de éste o temporalmente en contacto con él y llega hasta profundidades de aproximadamente 500 metros. Es un tiburón cosmopolita en aguas templadas y zonas subtropicales. (Compagno, 1984b).

Se desplaza comúnmente en grupos de numerosos individuos parcialmente segregados por sexo y tamaño durante casi todo el año, hasta llegar la época reproductiva (Walker *et al.*, 2006). Es un tiburón capaz de realizar fuertes nados, de grandes distancias; se han registrado movimientos de hasta 56 km por día en las poblaciones distribuidas en las latitudes más altas. Durante el día y la noche presenta migraciones menores, rondando aguas profundas durante el día y aguas más someras durante la noche (Ebert *et al.*, 2013).

G. galeus, es una especie catalogada con peligro crítico, debido al mal manejo y exceso de pesca, así como por la destrucción de su hábitat, habiendo presentado una reducción poblacional a nivel global de casi el 80% (IUCN, 2020). Es una especie de interés en las pesquerías mexicanas (Castillo-Geniz & Tovar-Ávila, 2016), y no se encuentra reportada bajo un estatus de riesgo en México (SEMARNAT, 2010). Actualmente no ha sido evaluada por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) (Froese & Pauly, 2019).

El impacto trófico de especies como *G. galeus*, ha sido pobremente incorporado en los estudios de manejo de recursos pesqueros en el Pacífico Noreste (Bizzarro *et al.*, 2017). Previamente se han estudiado los hábitos alimenticios de *G. galeus* en diversas regiones fuera del Pacífico Mexicano. Por ejemplo, en el noreste del Océano Atlántico, *G. galeus* tiende a alimentarse de peces epibentónicos y pelágicos en un 77%. Las familias más representativas en su dieta son Clupeidae, Goodeidae y Scombridae, mientras que los cefalópodos comprenden 18.9% de su dieta (Ellis *et al.*, 1996).

En medio del Atlántico, en la Isla Azores, *G. galeus*, se alimenta en un 99.9% de peces, de los cuáles la presa más representativa es *Capros aper*, con un índice de importancia relativa (IIR) de 93.2% (Morato *et al.*, 2003). Por otra parte, en el suroeste del Océano Atlántico, la dieta de *G. galeus*, se comprende 93.5% de teleósteos y 0.66% de cefalópodos y se han reportado algunos condrictios en su dieta (IIR=0.31%) (Lucifora *et al.*, 2006).

Para el noroeste del Pacífico se ha reportado la dieta de *G. galeus* con características piscívoras, en su mayoría, comprendida por 90.3% de teleósteos, 7.5% de cefalópodos y 2.2% de condrictios (Bizzarro *et al.*, 2017).

Por último, en 2018 se analizaron las mismas muestras de contenido estomacal revisadas en el presente estudio. Si bien las metodologías de análisis de datos fueron diferentes a las aquí presentadas, la descripción de los hábitos alimentarios de *G. galeus* es compartida con nuestro estudio al describir a *G. galeus* como un depredador piscívoro con una preferencia notable por el consumo de *Synodus* sp (Di Filippo, 2018). Las diferencias metodológicas se abordan más adelante en el presente documento.

Los estudios de contenido estomacal nos proporcionan diversos acercamientos a la ecología trófica de un organismo, con repercusiones a nivel individual, poblacional y ecosistémico (Sagar, Nair, & Gop, 2019). Este tipo de análisis es particularmente eficiente en peces por su capacidad de ser muestreados en grandes cantidades, el consumo regular de sus presas engulléndolas completamente y por tener una estructura digestiva bien definida (Amundsen & Sánchez-Hernández, 2019).

Los patrones alimenticios en los peces integran diversos componentes ecológicos, como lo son el comportamiento, uso de hábitat, consumo energético e interacciones inter e intraespecíficas, entre otros. Partiendo de un estudio descriptivo de los componentes que comprenden la dieta de un pez, podemos profundizar con metodologías cuantitativas hasta poder ponderar la importancia alimentaria de cada presa en la dieta y contestar preguntas que atañen a la biología y ecología de una especie.

Se proponen tres campos principales en los estudios de contenido estomacal, a partir de los cuales se desarrollan los temas antes mencionados: Importancia relativa de las presas consumidas, selección de presas y especialización del depredador, así como la tasa de consumo del mismo (Amundsen & Sánchez-Hernández, 2019).

Los alcances de un estudio de contenido estomacal como el aquí presentado, aseguran la apertura y base de diversas preguntas de investigación involucrando no sólo a la especie de análisis y sus implicaciones biológicas y ecológicas sino también a los organismos con los que dicha especie interactúa en el área de muestreo.

Por ende, en el trabajo aquí presentado se muestra una descripción de los hábitos alimentarios de *G. galeus* en Bahía Tortugas, B. C. S., tratando de dilucidar si existen diferencias tróficas intraespecíficas, comparando entre sexos y estadios de madurez. A partir de la información recabada, se busca proponer una estrategia alimentaria para esta especie, así como calcular su nivel trófico en el área de estudio, dejando de este modo, sentadas las bases para definir el rol ecológico de *G. galeus* en Bahía Tortugas B. C. S.

7 Justificación

El impacto trófico de *G. galeus*, es poco conocido en el Pacífico Mexicano, por esta razón, la información obtenida a partir de este estudio establecerá las bases a nuevas preguntas de investigación para conocer a fondo la biología de un organismo de interés comercial en aguas mexicanas.

Asimismo, siendo organismos que comúnmente ocupan los niveles tróficos más altos, los tiburones desempeñan el rol de depredadores en la mayoría de los ecosistemas marinos, influyendo directamente en la dinámica de poblaciones de sus presas potenciales, así como indirectamente al modificar el comportamiento de las mismas (Roff *et al.*, 2016). Por esta razón, el conocer los hábitos alimenticios del depredador *G. galeus* en la red trófica de una zona de explotación continua de recursos marinos (Guzmán Del Proo *et al.*, 1991), nos ayudará a tener un mejor acercamiento al rol ecológico de esta especie en el ecosistema.

8 Objetivos

8.1 Objetivo General

Describir los hábitos alimenticios de *Galeorhinus galeus* en la zona pesquera de Bahía Tortugas, B.C.S., a partir del análisis de contenido estomacal.

8.2 Objetivos Particulares

- Describir el espectro trófico de *G. galeus* a nivel especie en la zona pesquera Bahía Tortugas.
- Describir el espectro trófico de *G. galeus*, por estadio de madurez y por sexo, en el área de estudio.
- Describir la amplitud trófica de *G. galeus*.
- Sugerir un tipo de estrategia alimentaria para *G. galeus* en el área de estudio.
- Determinar si existe traslape trófico intraespecífico (por sexo y estadio de madurez), a partir de los resultados obtenidos.
- Calcular el nivel trófico que ocupa *G. galeus* en el área de estudio.

9 Materiales y métodos

9.1 Lugar de estudio

Bahía Tortugas es una comunidad pesquera que se encuentra en el noroeste de Baja California Sur (27°39'35" N, 114°52'35" O), comprendiendo un segmento de los 100 kilómetros que conforman a la Bahía Sebastián Vizcaíno y ubicándose entre Punta Eugenia (al norte) y Bahía Asunción (al sur).

Se caracteriza por un clima cálido-seco durante el verano y el otoño con temperaturas ambientales mínimas de 14°C y máximas de 36°C. Durante el invierno y la primavera, se registran temperaturas ambientales más templadas con un mínimo de 10°C y un máximo de 26°C (Juaristi-Videgaray, 2016).

Bahía Tortugas presenta una extensión de 20.5 Km² y profundidad aproximada de 11 m en el centro y 14 m hacia la boca, donde dos puntas ígneas cierran la bahía. La punta rocosa más sureña se desglosa en islotes pequeños que amortiguan el oleaje. El agua presenta una temperatura que varía estacionalmente con 12.7°C como mínimo y 19.9°C como máximo (Guzmán Del Proo *et al.*, 1991).

Los vientos provenientes del norte y noroeste del océano Pacífico originan surgencias costeras en los alrededores de la Bahía, dando lugar a un flujo constante de nutrientes de gran aporte energético para la producción primaria y, por consiguiente, para la red trófica en general (Di Filippo, 2018).

Entre las actividades pesqueras más notables de esta región se encuentran la pesca de abulón, langosta y algas (*Gelidium* sp.) (Guzmán Del Proo *et al.*, 1991), entre otras. Los sitios de pesca de donde provienen las muestras fueron Malarrimo, Punta Eugenia, Isla Cedros, El Campito y Bahía Tortugas (**Fig. 2**), siendo esta última el punto donde se tomaron las muestras de tejido.

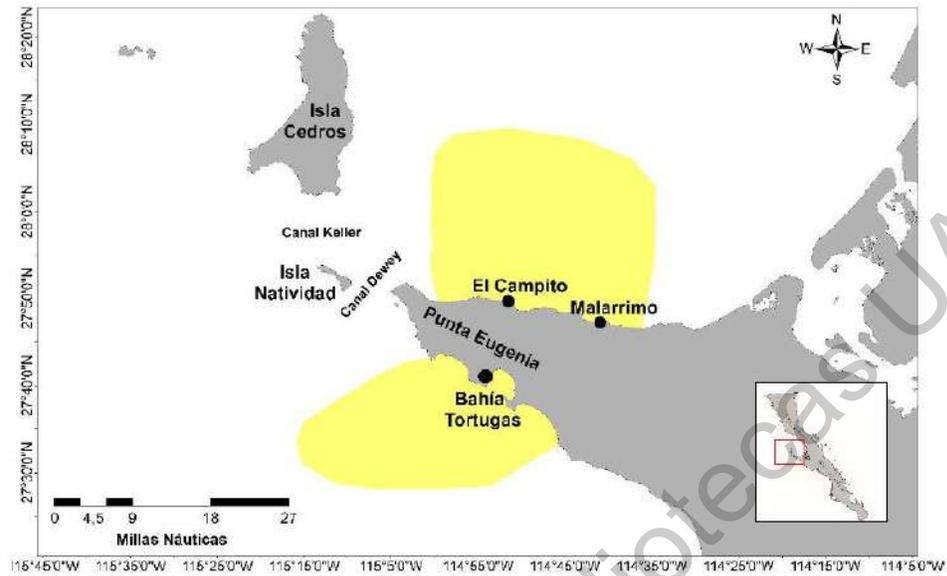


Figura 2. Área de estudio, Bahía Tortugas y sitios aledaños de colecta en Baja California Sur, México (Bernal, 2017).

9.2 Colecta

Se utilizaron muestras de estómago de individuos de *G. galeus*, de tres años diferentes (2013, 2014 y 2016). Existe un convenio con los pescadores de Bahía Tortugas, en el cual se le permite a los investigadores del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN) obtener los tejidos de interés para fines científicos una vez que fueron pescados los especímenes.

Las muestras de tejido son producto de ejemplares obtenidos a partir de la pesca comercial, es decir, se les está dando un máximo aprovechamiento a los tejidos de dichos organismos más allá del objetivo final de los miembros del campo pesquero. Cabe destacar que la pesca de *G. galeus*, no fue siempre dirigida exclusivamente a esta especie, por lo tanto, la toma de dichas muestras estuvo siempre sujeta a disponibilidad de especímenes. Por este motivo, el protocolo para el proyecto se estableció posterior a la colecta de los ejemplares.

Cada muestra se etiquetó con los siguientes datos: sitio y fecha de colecta, especie, sexo, número de organismo y longitud total. Se almacenaron en bolsas de plástico y se procedió a congelar cada muestra de tejido estomacal para su posterior revisión en el Laboratorio de Ecología de Peces de CICIMAR-IPN.

9.3 Trabajo de laboratorio

Para la revisión de muestras, se descongelaron por un tiempo aproximado de 40 minutos, dentro de agua común a temperatura ambiente. Ya descongelado, cada estómago se depositó en una bandeja de disección para la extracción del contenido. Se separaron los ítems alimenticios, se cuantificaron y pesaron individualmente y se determinó el estado de digestión de cada uno (Tabla 1). Cada ítem separado fue etiquetado con la información de colecta inicial, registrado en una base de datos y preservado en congelación para su futura identificación.

Tabla 1. Descripción de los estados de digestión de presas (Galván-Magaña, 1999).

Características de la presa	Estado de digestión
Identificables taxonómicamente debido a una mínima digestión	1
Presas con pérdida de alguna estructura corporal (peces sin escamas, sin aletas)	2
Presas que presentaban segmentos vertebrales o partes aisladas del cuerpo	3
Estructuras rígidas difíciles de digerir (otolitos, picos de cefalópodos) y Materia orgánica no identificada	4

El proceso de identificación taxonómica se realizó de la siguiente manera:

- Para los teleósteos, se utilizaron claves de identificación de caracteres vertebrales (Clothier, 1950; Soto-Segoviano, 2014) y otolitos (Merchant *et al.*, 2008).
- Para los cefalópodos encontrados, se utilizó la guía de identificación de picos de cefalópodos del Pacífico oriental (Pinkas *et al.*, 1971).

Se creó una matriz de datos con la información obtenida de la identificación de cada organismo ingerido. Los restos de organismos no identificados se registraron como Materia Orgánica No Identificada (MONI).

Dado que la medida de primera madurez de *G. galeus* en el Pacífico mexicano no ha sido determinada, los estadios de madurez para las muestras se clasificaron a partir de un promedio de las medidas obtenidas para Argentina (Escalante *et al.*, 2004), nueva Zelanda (Francis *et al.*, 1998), el Atlántico Norte y resto del mundo (Ebert *et al.*, 2013; IUCN, 2019).

9.4 Análisis de datos

9.4.1 Representatividad del muestreo

Para determinar si el tamaño de muestra utilizado en este estudio es representativo al describir el espectro trófico de *G. galeus*, se realizaron curvas de diversidad acumulada de presas, tanto de forma general para la especie, como por sexo y estadio de madurez, utilizando el software EstimateS (Colwell, 2006). Partiendo del Índice de Diversidad de Shannon y su desviación estándar, se calcularon los valores del Coeficiente de Variación (C.V.) para cada unidad de muestreo (estómago). Se graficaron los estómagos muestreados contra la diversidad de Shannon acumulada. De igual forma se tomó en cuenta el valor de $C.V. \leq 0.05$ como indicativo de la presencia de homogeneidad suficiente en los valores de diversidad, para clasificar el muestreo como representativo.

9.4.2 Espectro Trófico

Para determinar el espectro trófico de *G. galeus* se analizaron las presas identificadas calculando el Índice de Importancia relativa de cada presa (%IIR) (Pinkas *et al.*, 1971). Este índice describe el papel de cada presa en la dieta, integrando la importancia de cada presa de forma numérica (%N), volumétrica (%G) y su frecuencia de aparición (%F.A.) (Hyslop, 1980), como se describe a continuación.

9.4.2.1 Método Numérico

Se calculó la proporción numérica (porcentaje) de cada presa en el contenido estomacal de *G. galeus* con la fórmula:

$$\%N = \left(\frac{n}{NT} \right) * 100$$

Donde:

%N= Proporción numérica

n= Número total de presas de una determinada especie

NT= Número total de presas encontradas en los estómagos

9.4.2.2 Método Gravimétrico

Se calculó el peso de cada presa en la dieta de *G. galeus*, como un porcentaje del peso total de la misma con la fórmula:

$$\%G = \left(\frac{g}{GT} \right) * 100$$

Donde:

%G= Proporción gravimétrica

g= Peso total de un tipo de presa

GT= Peso total de las presas encontradas en los estómagos

9.4.2.3 Frecuencia de aparición

Se analizó el número de veces que cada tipo de presa apareció en estómagos con alimento y se representa como una proporción con la fórmula:

$$\%F.A. = \left(\frac{n}{TE} \right) * 100$$

Donde:

%F.A.= Porcentaje de frecuencia de aparición

n= número de estómagos en los cuáles se encontró un tipo de presa

TE= Número total de estómagos con alimento

9.4.2.4 Índice de importancia relativa

La importancia relativa de cada presa en la dieta de *G. galeus* incorpora los tres métodos calculados con anterioridad. La fórmula para calcular el IIR es la siguiente:

$$IIR = (\%G + \%N) * \%F. A.$$

Donde:

IIR= Índice de importancia relativa de cada especie

%G= Proporción gravimétrica de cada presa

%N= Proporción numérica de cada presa

%FA= Proporción de frecuencia de aparición de cada presa

Se propone que el IIR debe ser representado en un valor porcentual (Cortés, 1997), por lo que el IIR obtenido se ajustó utilizando la fórmula:

$$\%IIR = \frac{(100 * IIR_i)}{(\sum_{i=1}^n IIR_i)}$$

9.4.3 **Amplitud Trófica**

9.4.3.1 Índice de Levins

Para determinar la amplitud trófica se utilizó el índice de Levins (Levins, 1968; Krebs, 1999), el cual mide la uniformidad de la distribución de individuos que consumen cierto tipo de recurso (presa). Los valores del índice de Levins van de 0 a 1. Si el valor se ubica entre 0 y 0.6, se considera al organismo como especialista, mientras que valores mayores a 0.6 sugieren una dieta más generalista para el organismo. El cálculo se realizó adaptando el índice a una fórmula estandarizada (Hurlbert, 1978):

$$Bi = \left(\frac{1}{n-1} \right) \left(\frac{1}{\sum Pij^2} - 1 \right)$$

Donde:

Bi= Índice de Levins para el depredador i

$\sum Pij^2$ = Proporción de la dieta del depredador i que utiliza la presa j

n= Número de categorías de recursos (presas)

9.4.4 Estrategia alimentaria de Amundsen

Se calculó la abundancia específica de cada presa (Amundsen *et al.*,1996) con la siguiente fórmula:

$$P_i = \left(\frac{\sum S_i}{\sum S_{ti}} \right) * 100$$

Donde:

P_i = Es la abundancia específica de la presa (i)

S_i = Es el contenido estomacal (en este caso se utilizó el peso de la presa)

S_{ti} = El contenido estomacal total (peso) en aquellos estómagos donde estuvo presente la presa (i)

La abundancia específica es el porcentaje que comprende un taxón presa de todas las presas identificadas en aquellos estómagos en los que dicho taxón aparece. Para evaluar la abundancia de cada presa en la dieta de *G. galeus*, se graficaron las abundancias específicas contra los valores de frecuencia de aparición de cada una.

Dependiendo del lugar en el gráfico que ocupen los puntos evaluados, se puede determinar el tipo de estrategia alimentaria (Fig. 3 y 4).

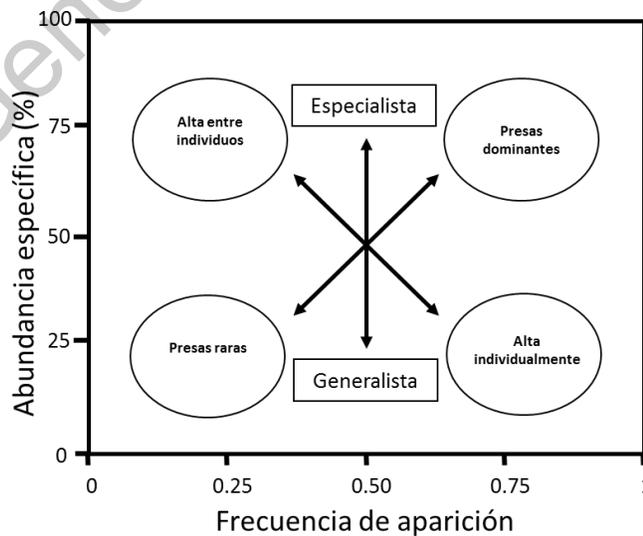


Figura 3. Estrategia alimentaria de un depredador a partir del cálculo de la abundancia específica para cada presa identificada (Amundsen *et al.*, 1996).

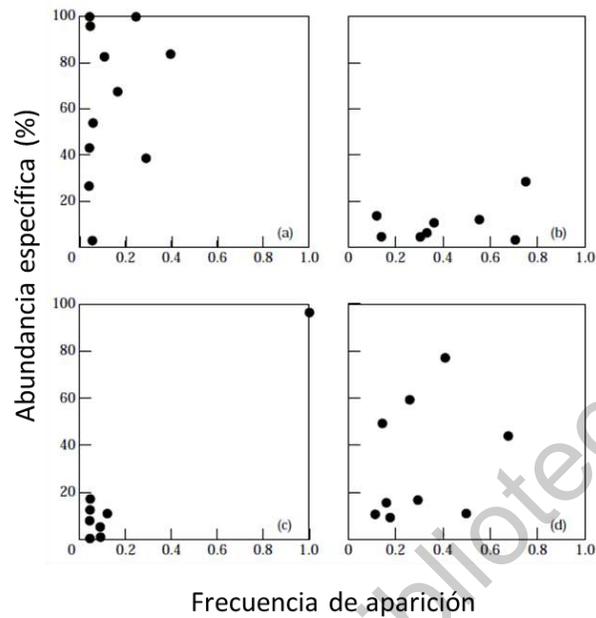


Figura 4. Ejemplos de estrategias alimentarias: a) Especialización en distintos tipos de presas, b) Dieta más generalizada y superior dentro de la variación individual en la amplitud de la dieta, C) Especialización por un sólo tipo de presa, mostrando consumo ocasional de otras presas, d) Estrategia mixta, algunos individuos especialistas y otros generalistas (Torres-Rojas, 2011).

9.4.5 Traslape Trófico

9.4.5.1 Análisis de Similitud

Se realizó un análisis de similitud ANOSIM (Clarke & Warwick, 1994), utilizando el software PAST 4.0, para comparar intraespecíficamente el espectro trófico de *G. galeus*, por estadio de madurez y por sexos.

La fórmula descrita para el análisis es la siguiente:

$$R = \frac{(\bar{r}_B - \bar{r}_W)}{\frac{1}{2}M}$$

Donde:

R= Similitud entre los grupos analizados

r_W = Promedio de todos los intervalos de similitud dentro de los sectores

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

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

Los valores de “p” mayores a 0.05 sugieren que no existen diferencias significativas entre los grupos que estamos comparando (H_0). El estadístico R describe el grado de disimilitud entre los grupos analizados. El rango de valor de dicho estadístico puede ser cercano a 0 (Diferencias nulas o pocas, H_0 no se puede rechazar) o a 1 (Diferencias en la composición de los grupos) (Clarke & Warwick, 1994).

9.4.5.2 Índice de Morisita-Horn

Para establecer la magnitud del traslape en cuanto a uso de recursos en las dietas de *G. galeus* (Machos vs Hembras, Adultos vs Juveniles) se utilizó el Índice de Morisita-Horn (Krebs, 1997; Horn 1966):

$$\hat{C}_H = \frac{2 \sum_i^n \hat{p}_{ij} \hat{p}_{ik}}{\sum_i^n \hat{p}_{ij}^2 + \sum_i^n \hat{p}_{ik}^2}$$

Donde:

C_H = Índice simplificado Morisita-Horn para el traslape entre especie j y k

p_{ij} = Proporción del recurso i (presa) del total de recursos usado por j

p_{ik} = Proporción del recurso i (presa) del total de recursos usado por k

n= Número total de recursos

Los valores resultantes van de 0 a 1. Siendo 0 como un traslapo nulo o inexistente y 1 como un traslapo total de uso de recursos entre los grupos comparados.

9.4.6 Nivel Trófico

Se calculó la posición trófica (Christensen & Pauly, 1992) de *G. galeus* a partir de la fórmula:

$$NT = 1 + \left(\sum_{j=1}^n CD_{ij} * NT_j \right)$$

Donde:

NT= Nivel trófico

CD_{ij} = Composición de la dieta. Proporción de la presa (j) en la dieta de la especie (i)

NT_j = Nivel trófico de la presa (j)

n= Número de grupos en el sistema

Para este cálculo se obtuvieron los niveles tróficos de cada presa de dos diferentes fuentes:

- Los teleósteos de la base de datos de Fishbase_(Froese & Pauly, 2019).
- Cefalópodos (Cortés, 1999).

La posición trófica de las presas que han sido identificadas hasta nivel género se obtuvo a partir del promedio de todas las especies de dicho género presentes en el área.

Los valores de Nivel trófico pueden abarcar un rango entre 1 y 5 dependiendo el tipo de alimentación (Trujillo-Olvera, 2015) (Tabla 2).

Tabla 2. Descripción de los valores de Nivel Trófico según su respectivo tipo de alimentación (Trujillo-Olvera, 2015).

Grupo	Nivel Trófico	Alimento
Productores primarios	0 - 2	
Herbívoros	2.0 - 2.1	Detritus y Plantas (algas)
Omnívoros con preferencia por materia vegetal	2.1 - 2.9	Esponjas, Hidrozoos, Antozoos, Ostrácodos, Isópodos, Anfípodos y Copépodos.
Omnívoros con preferencia por materia animal	2.9 - 3.7	Balanos, Ascidas, Anfípodos, Anélidos, Isópodos, Gasterópodos, Cnidarios, Ophiuros, Poliquetos, Cladóceros, Misidáceos, Eufáusidos, Larvas de peces y Cefalópodos
Carnívoros	3.7 - 5	Grandes decápodos, Cefalópodos, mamíferos y Peces

10 Resultados

10.1 Representatividad del muestreo

Se obtuvieron en total 49 estómagos, de los cuales 48 contenían alimento. De dicha muestra se identificaron 23 hembras (46.9%) y 26 machos (53.1%). En cuanto al estadio de madurez, se analizaron 15 adultos (30.6%) y 34 juveniles (69.4%) del total.

Las proporciones para cada estrato de análisis fueron:

- 0.9 Hembras: 1 Macho
- 0.44 Adultos: 1 Juvenil

No fue posible el análisis de variaciones en la dieta de *G. galeus* de forma anual o estacional debido a la irregularidad en los tamaños muestrales a partir del método de colecta utilizado (18 estómagos de agosto del 2013, 24 estómagos de noviembre del 2014 y 7 estómagos de agosto del 2016).

10.1.1 Curvas de acumulación de especies

10.1.1.1 General para *G. galeus*

De acuerdo con el software EstimateS, el tamaño de muestra para el análisis de contenido estomacal de *G. galeus* como especie, habiendo colectado un total de 48 estómagos, es estadísticamente representativo, al obtener un valor de C.V.= 0.045 en el estómago número 37. Esto confirma que es un número suficiente de estómagos para representar el espectro trófico de la especie (**Fig. 5**).

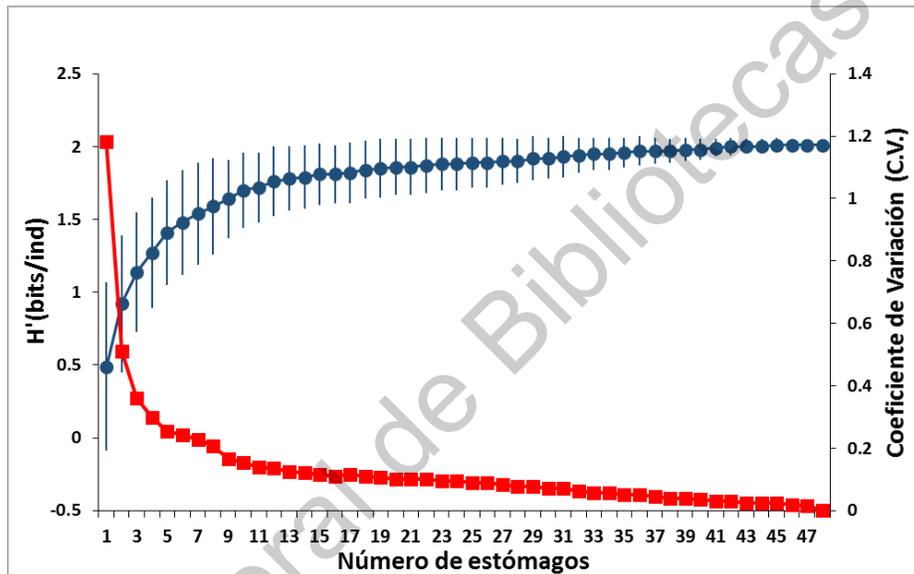


Figura 5. Curva general de acumulación de especies presa para *Galeorhinus galeus*, en Bahía Tortugas, B.C.S., México. Esferas azules: Diversidad acumulada de Shannon con su desviación estándar, Cuadrados rojos: C.V.

10.1.1.2 Por estadio de madurez

La colecta de estómagos para el grupo de juveniles, con un total de 34 estómagos analizados, alcanzó un valor de C.V.=0.049 en el estómago número 26, por lo tanto, podemos clasificar el tamaño muestral como suficiente para representar el espectro trófico de los juveniles (**Fig. 6a**).

Del mismo modo para el grupo de adultos, en donde se trabajó con 15 estómagos, el valor C.V.= 0.49 se alcanzó en el estómago número 13, catalogándose como una muestra estadísticamente representativa (**Fig. 6b**).

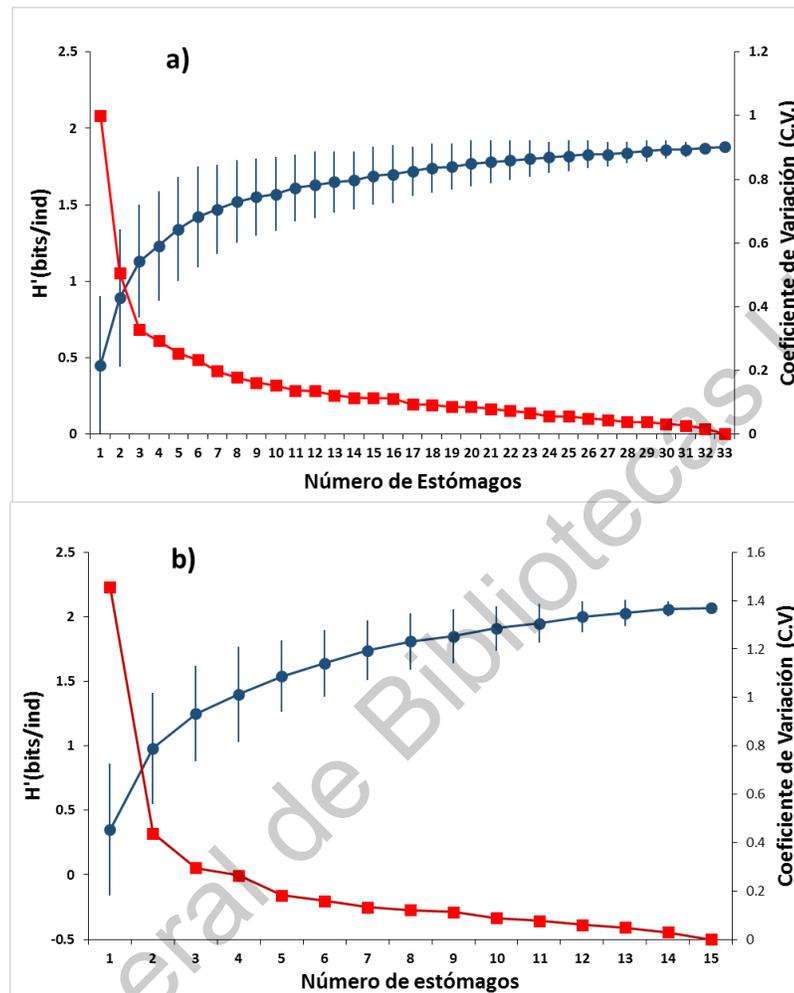


Figura 6. Curva de acumulación de especies presa para *Galeorhinus galeus*, en Bahía Tortugas, B.C.S., México. Por estadio de madurez: a) Juveniles, b) Adultos. Esferas azules: Diversidad acumulada de Shannon con su desviación estándar, Cuadrados rojos: C.V.

10.1.1.3 Por sexo

La colecta de estómagos para el grupo de hembras con un total de 22 estómagos alcanzó un valor C.V.=0.049 en el estómago número 18, lo que indica que el tamaño de muestra es estadísticamente representativo. (Fig. 7a). Del mismo modo en el grupo de Machos, en donde se trabajó con 26 estómagos, el valor C.V.=0.42 se alcanzó en el estómago número 23, demostrando que el tamaño muestral es suficiente para representar el espectro trófico del grupo (Fig. 7b).

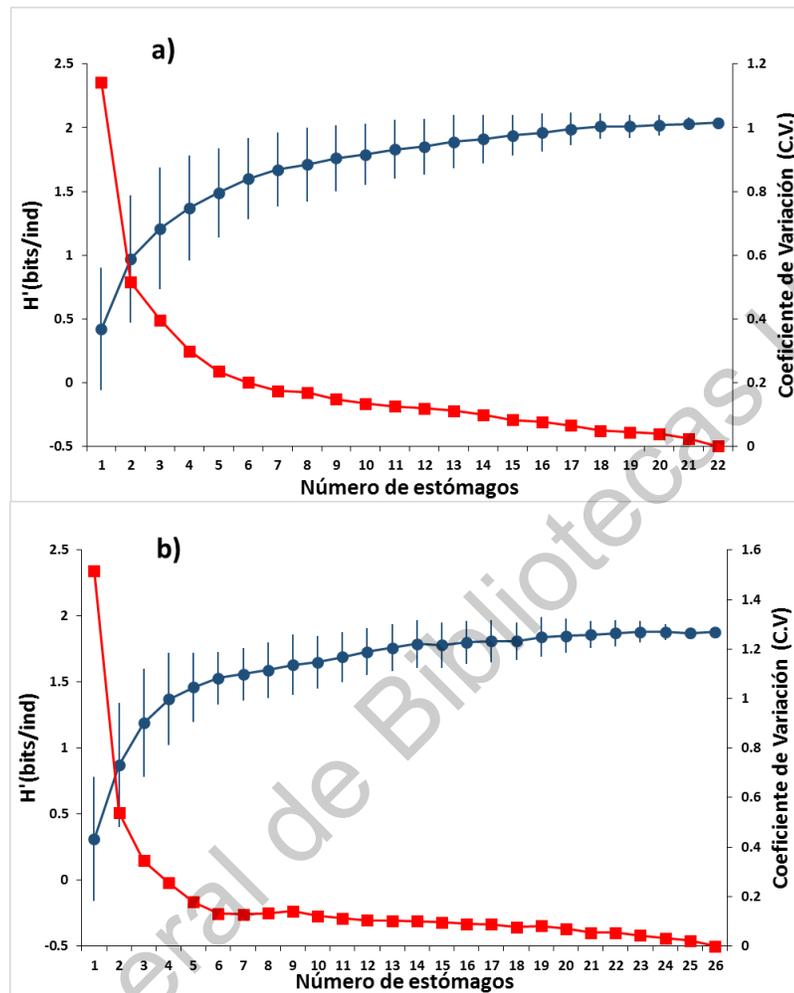


Figura 7. Curva de acumulación de especies presa para *Galeorhinus galeus*, en Bahía Tortugas, B.C.S., México. Por sexo: a) Hembras, b) Machos. Esferas azules: Diversidad acumulada de Shannon con su desviación estándar, Cuadrados rojos: C.V.

10.2 Estados de digestión

Del total de 127 organismos encontrados en los estómagos de *G. galeus*, 88 (69.29%) presentaron un estado de digestión tipo 3, 25 (19.69%) presentaron un estado de digestión tipo 2, mientras que el estado de digestión tipo 1 y 4 fueron observados únicamente en 3 (2.36%) y 11 (8.66%) organismos respectivamente.

10.3 Espectro Trófico

10.3.1 Espectro trófico general

Se describe de forma general para la especie, una dieta compuesta por 17 especies presa. Se identificaron 16 teleósteos y un cefalópodo. Las presas que se lograron identificar pertenecen a 14 familias, y 17 géneros (**Anexo 1**).

De acuerdo con el método Numérico (%N) (**Fig. 8**), la dieta se comprendió de 127 organismos, siendo *Synodus* sp. la especie presa de mayor aporte, (52.34%) con 67 organismos cuantificados. El cefalópodo *Octopus bimaculatus* fue la siguiente presa más abundante con 14 organismos cuantificados, representando un 10.94% de la dieta.

Tanto *Scomber japonicus* como *Sardinops caeruleus*, representaron el 9.38% de la dieta con 12 organismos cuantificados cada uno. Todas las presas restantes ocuparon menos del 5% de la dieta cada una.

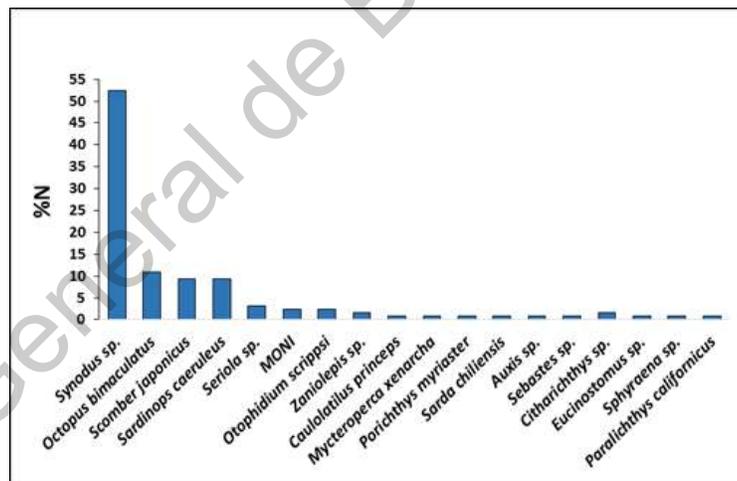


Figura 8. Espectro trófico general de *Galeorhinus galeus* por el método Numérico (%N) para Bahía Tortugas, B.C.S., México.

De acuerdo con el método Gravimétrico (%G) (**Fig. 9**), el peso total de las presas registradas fue de 4,881.69 g. del total documentado, *Synodus* sp. representó el 52.33% de la dieta con 2,554.74 g., *S. japonicus* representó el 25.75% de la dieta con 1,257.11 g, seguido por *Caulolatilus princeps* el cual representó el 7.12% de la dieta con 347.82 g. *S. caeruleus* representó el 5.85% de la dieta con 285.69g., y las presas restantes aportaron menos del 5% cada una.

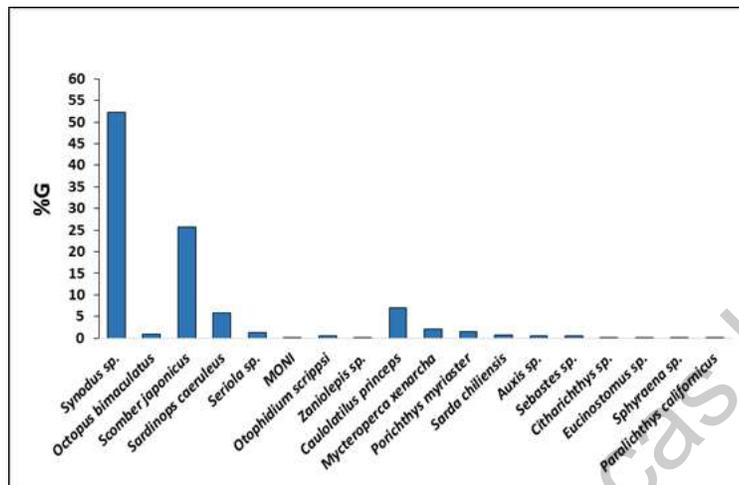


Figura 9. Espectro trófico general de *Galeorhinus galeus* por el método Gravimétrico (%G) para Bahía Tortugas, B.C.S., México.

De acuerdo con el método de Frecuencia de Aparición (%F.A.) (Fig. 10), la presa más frecuente fue *Synodus* sp. representando un 70.83%. *O. bimaculatus* representó un 22.92%, seguido por la *S. japonicus* y *S. caeruleus*, presas que representaron un 18.75% cada uno. *Seriola* sp. representó el 8.33%, mientras que la MONI representó el 6.25%. El resto de las presas representó menos del 5% cada una.

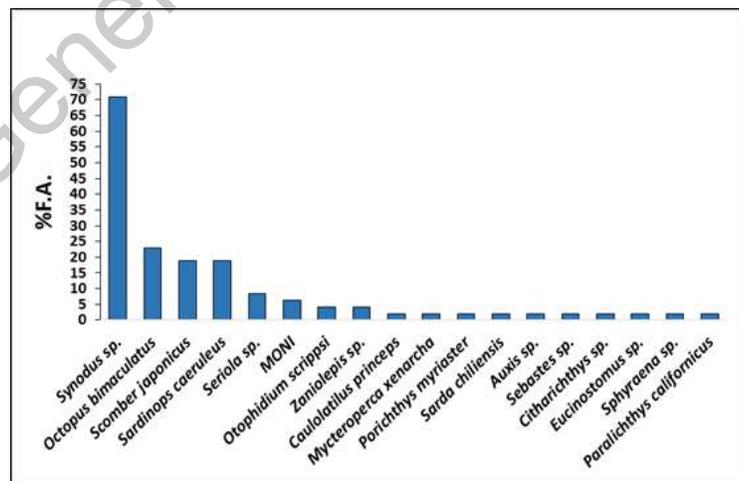


Figura 10. Espectro trófico general de *Galeorhinus galeus* por el método de Frecuencia de Aparición para Bahía Tortugas, B.C.S., México.

De acuerdo con el Índice de Importancia Relativa (%IIR) (Fig. 11), *Synodus* sp. ocupa el primer lugar como la presa más importante para *G. galeus* con una representatividad del 84.75% de la dieta. *S. japonicus* ocupa el segundo lugar de importancia con un 7.53% de representatividad de la dieta mientras que todas las demás presas representan menos del 5% cada una.

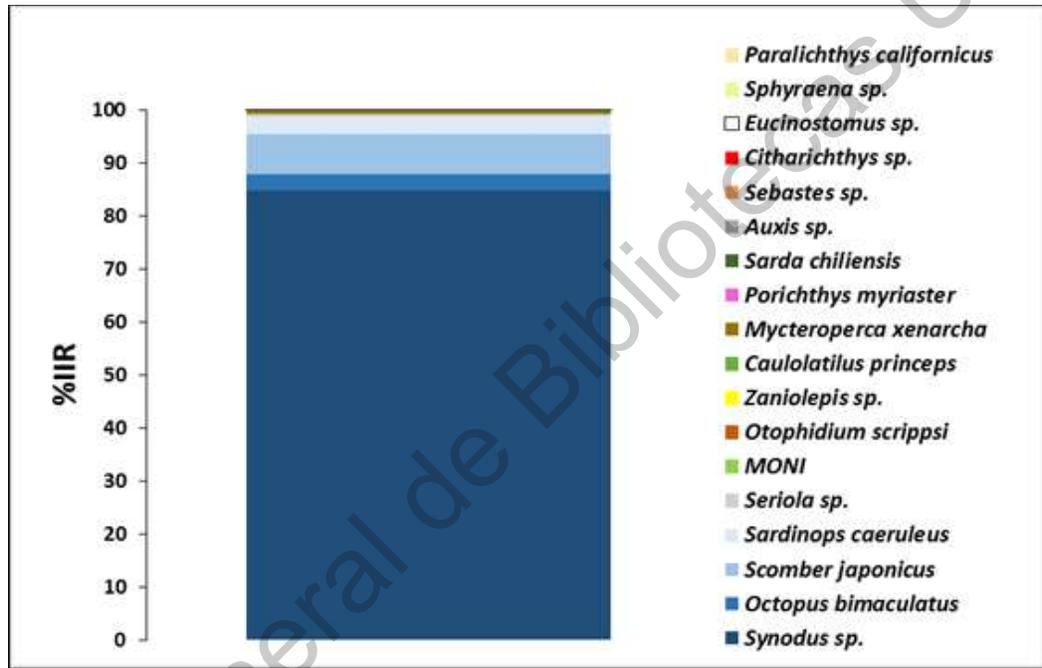


Figura 11. Índice de importancia relativa (%IIR) en la dieta general de *Galeorhinus galeus* en Bahía Tortugas, B.C.S., México.

10.3.2 Espectro trófico por estadio de madurez

Se describe para los adultos una dieta compuesta por 11 especies presa. De este grupo se identificaron 10 teleósteos y un cefalópodo. Las presas que se lograron identificar pertenecen a 11 familias, y 11 géneros. Para juveniles, se describe una dieta compuesta por 12 especies presa. De este grupo se identificaron 11 teleósteos y un cefalópodo. Las presas que se lograron identificar pertenecen a 9 familias, y 13 géneros. Únicamente 7 organismos pudieron ser descritos a nivel especie (Anexo 2).

De acuerdo con el método Numérico (%N) para los organismos adultos, la dieta se comprendió de 47 organismos, siendo *Synodus* sp. el más importante, representando el 48.34% de la dieta con un total de 23 organismos. El segundo lugar de mayor representatividad numérica en la dieta fue *S. japonicus*, representado un 17.02% de esta, con un total de 8 organismos. *O. bimaculatus* representó el 10.64% de la dieta con un total de 5 organismos, mientras que todas las demás presas representaron menos del 5% cada una (**Fig. 12**).

De acuerdo con el método Numérico (%N) para juveniles, la dieta se comprendió de 81 organismos, siendo *Synodus* sp. el más importante, representando el 54.32% de la dieta con un total de 44 organismos. El segundo lugar de mayor representatividad numérica en la dieta fue *S. caeruleus*, representado un 12.35% de esta, con un total de 10 organismos. *O. bimaculatus* representó el 11.11% de la dieta con un total de 9 organismos, mientras que todas las demás presas representaron menos del 5% cada una (**Fig. 12**).

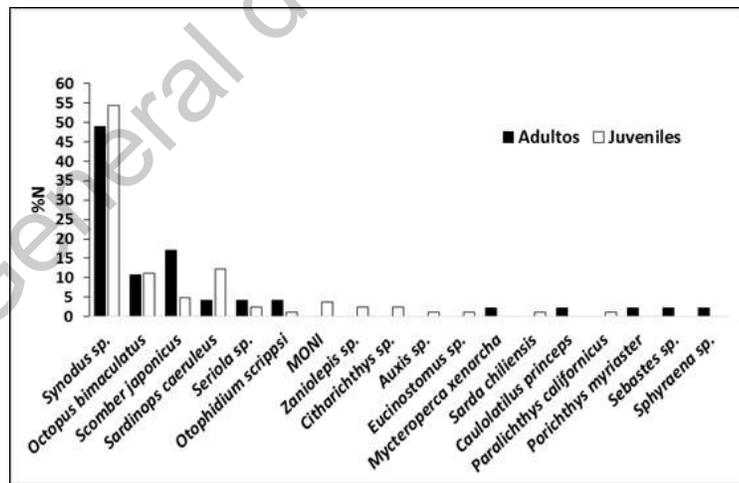


Figura 12. Espectro trófico de *Galeorhinus galeus* por estadios de madurez según el método Numérico (%N) en Bahía Tortugas, B.C.S., México.

De acuerdo con el método Gravimétrico (%G) para adultos, el peso total de las presas fue de 3,206.03 g. *Synodus* sp. representó el 45.88% de la dieta con un total de 1,470.81 g, seguido por *S. japonicus*, quien representó un 32.64% de la dieta con un peso total de 1,046.57 g.

El tercer lugar de importancia gravimétrica lo ocupó *C. princeps*, representando un 10.85% de la dieta con un peso total de 347.82 g, mientras que todas las presas restantes representaron menos del 5% cada una (**Fig. 13**).

De acuerdo con el método Gravimétrico (%G) para juveniles, el peso total de las presas fue de 1,675.66 g. Del total documentado, *Synodus* sp. representó el 64.69% de la dieta con un total de 1,083.93 g, seguido por *S. caeruleus*, quien representó un 13.09% de la dieta con un peso total de 219.35 g. El tercer lugar de importancia gravimétrica lo ocupó *S. japonicus*, representando un 12.56% de la dieta con un peso total de 210.54 g, mientras que todas las presas restantes representaron menos del 5% cada una (**Fig. 13**).

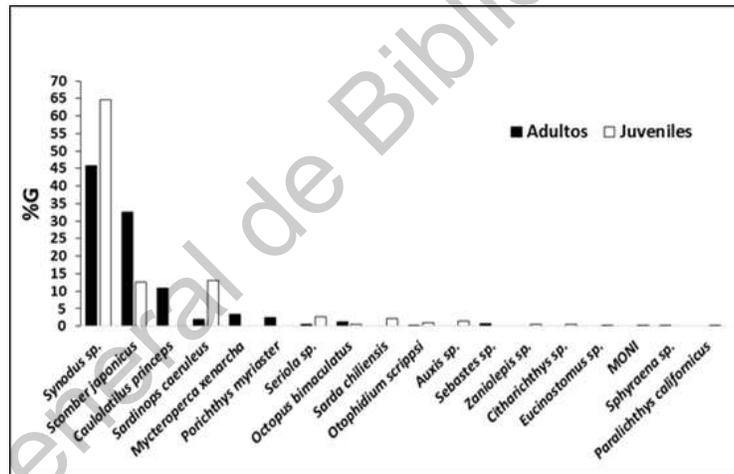


Figura 13. Espectro trófico de *Galeorhinus galeus* por estadio de madurez según el método Gravimétrico Bahía Tortugas, B.C.S., México.

De acuerdo con el método de Frecuencia de Aparición (%F.A.) para adultos, la presa más frecuente fue *Synodus* sp., representando un 53.33%. *S. japonicus* representó un 33.33%, seguido por *O. bimaculatus*, con un 26.67%. Tanto *S. caeruleus* como *Seriola* sp. representaron un 13.33% de frecuencia de aparición, mientras que todas las presas restantes representaron un 6.67% (**Fig. 14**).

De acuerdo con el método de Frecuencia de Aparición (%F.A.) para juveniles, la presa más frecuente fue *Synodus* sp., representando un 78.79%. Tanto *O. bimaculatus* como *S. caeruleus* representaron un 21.21%, seguidos por *S. japonicus*, con un 12.12%. La MONI representó un 9.09% de frecuencia de aparición, mientras que todas las presas restantes representaron un 6.67% (**Fig. 14**).

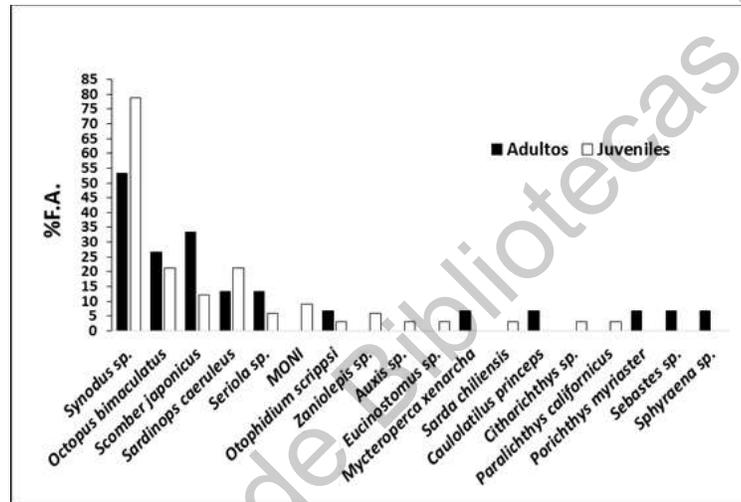


Figura 14. Espectro trófico de *Galeorhinus galeus* por estadio de madurez según el método de Frecuencia de Aparición en Bahía Tortugas, B.C.S., México.

De acuerdo con el Índice de Importancia Relativa (%IIR) para adultos, la presa que ocupa el lugar de mayor importancia en la dieta es *Synodus* sp. con un 68.40%. La segunda presa de mayor importancia fue *S. japonicus*, con un valor de 22.39%, mientras que todas las presas restantes representaron menos del 5% cada una (**Fig. 15**).

De acuerdo con el Índice de Importancia Relativa (%IIR) para juveniles, la presa que ocupa el lugar de mayor importancia en la dieta es *Synodus* sp. con un 89.26%. La segunda presa de mayor importancia fue *S. caeruleus* con un valor de 5.14%, mientras que todas las presas restantes representaron menos del 5% cada una (**Fig. 15**).

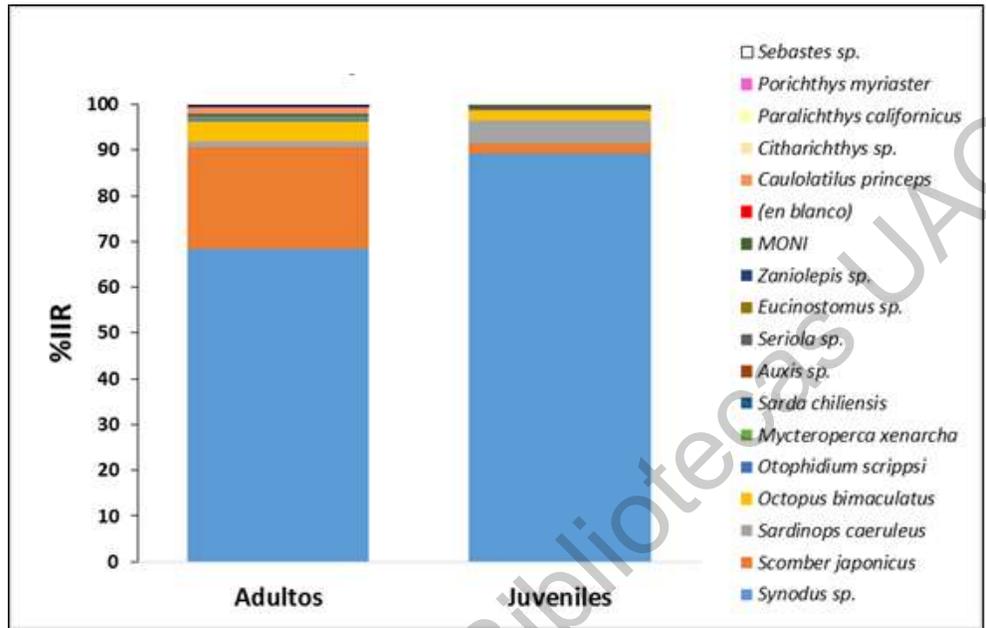


Figura 15. Índice de importancia relativa en la dieta de *Galeorhinus galeus* por estadio de madurez en Bahía Tortugas, B.C.S., México.

10.3.3 Espectro trófico por sexos

Se describe para los machos una dieta compuesta por 11 especies presa. De este grupo se identificaron 10 teleósteos y un cefalópodo. Las presas que se lograron identificar pertenecen a 9 familias, y 11 géneros. Únicamente 6 organismos pudieron ser descritos a nivel especie. Se describe para las hembras una dieta compuesta por 12 especies presa. De este grupo se identificaron 11 teleósteos y un cefalópodo. Las presas que se lograron identificar pertenecen a 11 familias, y 12 géneros. (**Anexo 3**).

De acuerdo con el método Numérico (%N) para machos, la dieta se comprendió de 66 organismos, siendo *Synodus sp.* el más importante, representando el 51.52% de la dieta con un total de 34 organismos.

El segundo lugar de mayor representatividad numérica en la dieta fue *S. japonicus*, representado un 15.15% de esta, con un total de 10 organismos. *S. caeruleus* representó el 10.61% de la dieta con un total de 7 organismos y *O. bimaculatus* representó un 7.58% de la dieta con un total de 5 organismos. Todas las demás presas representaron menos del 5% cada una (**Fig. 16**).

De acuerdo con el método Numérico (%N) para hembras, la dieta se comprendió de 62 organismos, siendo *Synodus* sp. el más importante, representando el 53.23% de la dieta con un total de 33 organismos. El segundo lugar de mayor representatividad numérica en la dieta fue *O. bimaculatus*, representado un 14.52% de esta, con un total de 9 organismos. *S. caeruleus* representó el 8.06% de la dieta con un total de 5 organismos, mientras que todas las demás presas representaron menos del 5% cada una (**Fig. 16**).

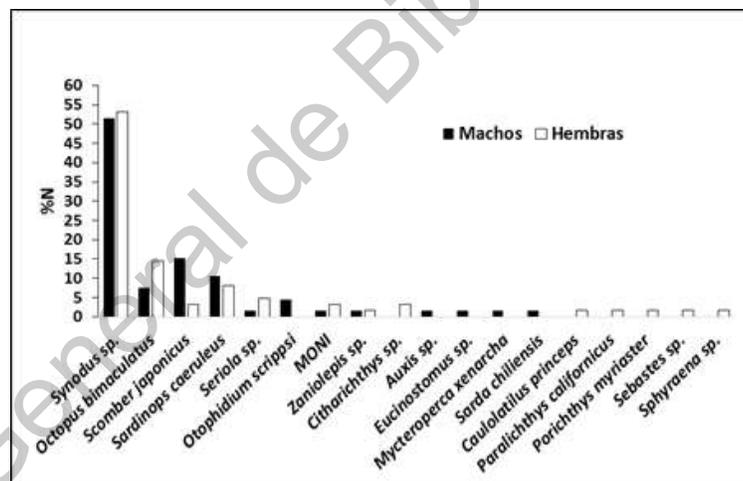


Figura 16. Espectro trófico de *Galeorhinus galeus* por sexos según el método Numérico (%N) Bahía Tortugas, B.C.S., México.

De acuerdo con el método Gravimétrico (%G) para machos, el peso total de las presas fue de 2,953.47 g. Del total documentado, *Synodus* sp. representó el 47.53% de la dieta con un total de 1,403.87 g, seguido por *S. japonicus*, quien representó un 38.67% de la dieta con un peso total de 1,142.07 g. Todas las presas restantes representaron menos del 5% cada una (**Fig. 17**).

De acuerdo con el método Gravimétrico (%G) para hembras, el peso total de las presas fue de 1,928.22 g. Del total documentado, *Synodus* sp. representó el 59.69% de la dieta con un total de 1,150.87 g, seguido por *C. princeps*, quien representó un 18.04% de la dieta con un peso total de 347.82 g. *S. caeruleus* representó el 7.49% de la importancia gravimétrica con un peso total de 144.46 g, mientras que *S. japonicus* representó el 5.97% con un peso total de 115.04 g. Todas las presas restantes representaron menos del 5% cada una (**Fig. 17**).

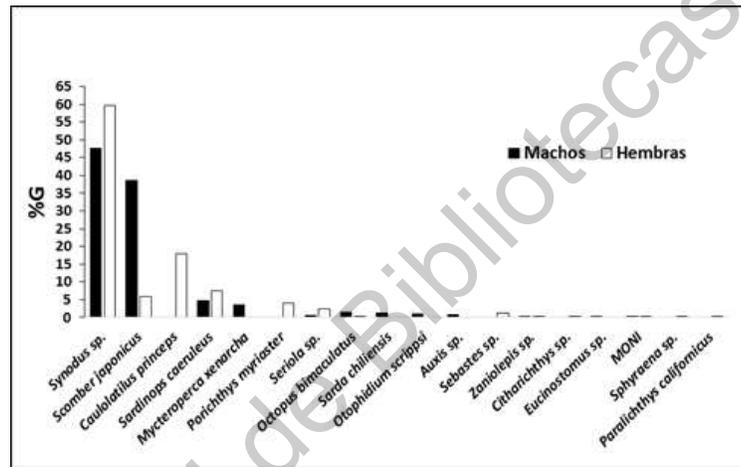


Figura 17. Espectro trófico de *Galeorhinus galeus* por sexos según el método Gravimétrico para Bahía Tortugas, B.C.S., México.

De acuerdo con el método de Frecuencia de Aparición (%F.A.) para machos, la presa más frecuente fue *Synodus* sp. representando un 73.08%. *S. japonicus* representó un 26.92%, seguido por *S. caeruleus*, con un 23.08%. *O. bimaculatus* representó un 19.23% de frecuencia de aparición, mientras que *Ophidion scrippsae* representó un 7.69%. Todas las presas restantes representaron menos del 5% cada una (**Fig. 18**).

De acuerdo con el método de Frecuencia de Aparición (%F.A.) para hembras, la presa más frecuente fue *Synodus* sp. representando un 68.18%. *O. bimaculatus* representó un 27.27% de frecuencia de aparición, mientras que *Seriola* sp. y *S. caeruleus* representaron un 13.64% cada uno. *S. japonicus* y la MONI representaron cada una 9.09% de frecuencia de aparición y todas las presas restantes representaron menos del 5% cada una (**Fig. 18**).

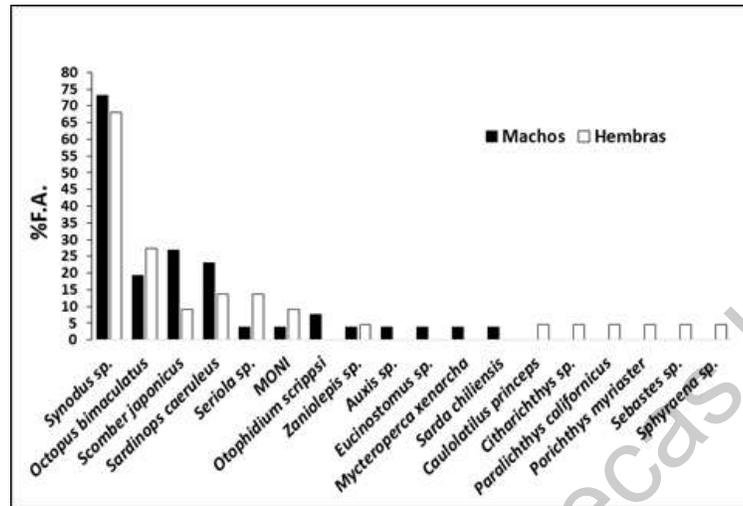


Figura 18. Espectro trófico de *Galeorhinus galeus* por sexos según el método de Frecuencia de Aparición para Bahía Tortugas, B.C.S., México.

De acuerdo con el Índice de Importancia Relativa (%IIR) para machos, la presa que ocupa el lugar de mayor importancia en la dieta es *Synodus* sp. con un 77.62%. La segunda presa de mayor importancia fue *S.japonicus* con un valor de 15.54%, Todas las presas restantes representaron menos del 5% cada una (**Fig. 19**).

De acuerdo con el Índice de Importancia Relativa (%IIR) para hembras, la presa que ocupa el lugar de mayor importancia en la dieta es *Synodus* sp. con un 88.55%, mientras que todas las presas restantes representaron menos del 5% cada una (**Fig. 19**).

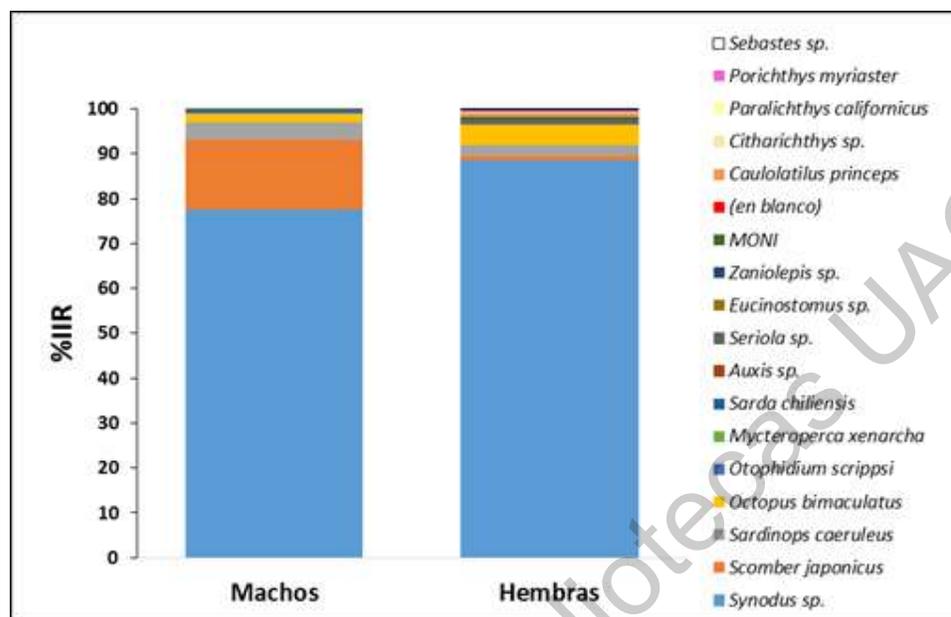


Figura 19. Índice de Importancia Relativa en la dieta de *Galeorhinus galeus* por sexos para Bahía Tortugas, B.C.S., México.

10.4 Amplitud trófica

10.4.1 Índice de Levins

De acuerdo con el índice de Levins, este organismo presenta una estrategia alimentaria especialista ($B_i=0.022$). Esto sugiere que hace uso de una baja diversidad de recursos en el ecosistema. Al hacer el cálculo de la amplitud trófica de la especie por estadio de madurez y por sexos, se encontraron de igual forma valores que sugieren la preferencia hacia recursos alimenticios específicos ($B_{i_{adultos}}=0.092$, $B_{i_{juveniles}}=0.020$, $B_{i_{machos}}=0.053$, $B_{i_{hembras}}=0.022$), es decir, una dieta especialista (Fig. 20).

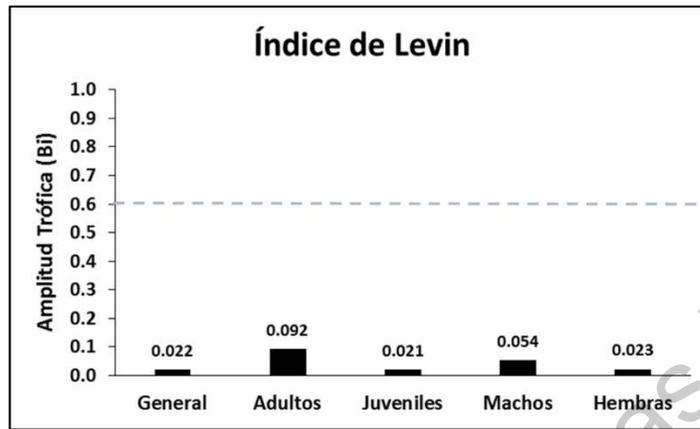


Figura 20. Amplitud trófica para *Galeorhinus galeus* en Bahía Tortugas, B.C.S., México, por estadio de madurez y por sexos, a partir del índice de Levins. Valores entre 0 y 0.6 indican una dieta especialista mientras que valores mayores a 0.6 indican una dieta generalista.

10.5 Estrategia alimentaria de Amundsen

10.5.1 Índice de Amundsen General

G. galeus como especie presenta una estrategia especialista, en la cual se alimenta mayormente de un sólo tipo de presa (*Synodus* sp.), con consumo ocasional de otras presas diferentes (Amundsen et al., 1996) (Fig. 21).

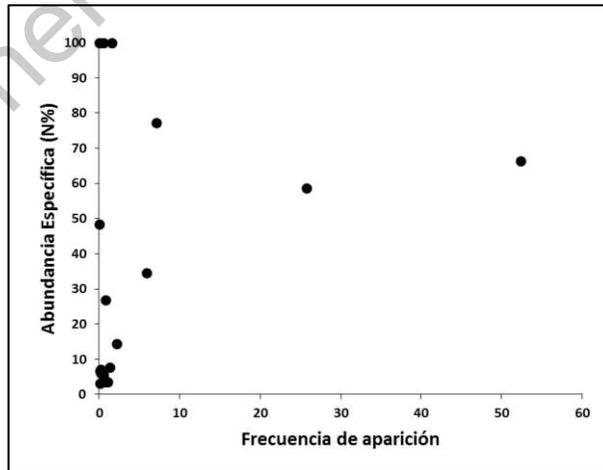


Figura 21. Estrategia alimentaria de *Galeorhinus galeus* en Bahía Tortugas, B.C.S., México.

10.5.2 Índice de Amundsen por sexo y por estadio de madurez

Cuando se realiza el análisis de la estrategia alimentaria de *G. galeus* por estadio de madurez y por sexos (Fig. 22), se puede determinar que cada categoría presenta la misma tendencia. Una estrategia especialista en la que se hay una preferencia alimentaria por un solo tipo de presa (*Synodus* sp.), con consumo ocasional de otras presas.

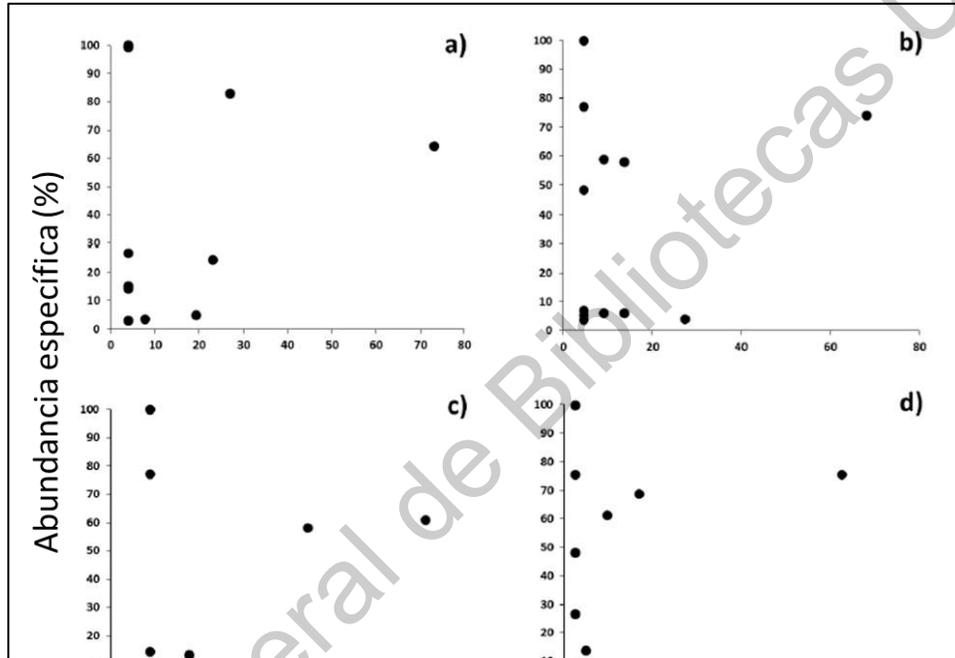


Figura 22. Estrategia alimentaria de *Galeorhinus galeus* en Bahía Tortugas, B.C.S., México, por estadio de madurez y por sexos: a) Machos, b) Hembras, c) Adultos y d) Juveniles.

10.6 Traslape trófico

10.6.1 Análisis de similitud (ANOSIM)

Según el Análisis de Similitud (ANOSIM) realizado para comparar entre sexos, no existe una diferencia significativa entre las dietas con un valor de $p=0.64$ y un valor $R=-0.013$.

El Análisis de Similitud (ANOSIM) realizado para comparar entre los estadios de madurez, generó un valor de $P=0.12$ y una $R=0.188$, lo que sugiere que estos dos no presentan una diferencia significativa en su dieta.

10.6.2 Morisita-Horn

Según el índice Morisita-Horn, existe un notable traslape trófico entre organismos adultos y juveniles ($C\lambda=0.887$), sugiriendo que hacen uso de los mismos recursos en el ecosistema. De igual forma, para el análisis por sexos, se pudo observar que comparten recursos en el ecosistema con un traslape trófico ($C\lambda=0.917$) incluso mayor al que hay entre adultos y juveniles (**Tabla 3**).

Tabla 3. Índice Morisita-Horn para la determinación del traslape trófico entre los grupos de análisis por estadio de madurez y por sexos de *G. galeus* en Bahía Tortugas, B.C.S., México.

	$C\lambda$
Adultos	
vs	0.887
Juveniles	
Machos	
vs	0.917
Hembras	

10.7 Nivel trófico

A partir de calcular la posición trófica de *G. galeus* en Bahía Tortugas, B.C.S., se obtuvo un valor $NT=4.92$ para la especie de forma general. Al calcularlo por estadio de madurez, los valores obtenidos fueron $NT=4.89$ para los adultos y $NT=4.97$ para los juveniles.

Cuando se calculó por sexos, se obtuvo un valor $NT=4.86$ para los machos y el valor más alto fue de $NT=5.01$ para las hembras (**Tabla 4**).

Tabla 4. Posición trófica de *Galeorhinus galeus* en Bahía Tortugas, B.C.S., México, calculada de forma general, por estadio de madurez y por sexos.

Nivel Trófico	
General	4.92
Adultos	4.89
Juveniles	4.97
Machos	4.86
Hembras	5.01

Dirección General de Bibliotecas UAQ

11 Discusión

11.1 Estados de digestión

Poco más de dos tercios del total de presas encontradas en los estómagos de *G. galeus* presentaron el estado de digestión tipo 3, en el cuál las estructuras presentes son segmentos vertebrales y/o partes aisladas del cuerpo del organismo en cuestión. Este gran porcentaje de presas con el mismo estado de digestión nos sugiere un mismo horario de alimentación para una gran parte de los individuos que conforman la población de *G. galeus* en el área de estudio, apoyando la descripción de su comportamiento gregario fuera de la época reproductiva (Walker et al., 2006).

Según un estudio realizado en el condado de Monterrey California, 5 horas después de la ingesta, los peces consumidos muestran una pérdida total de escamas en el tiburón Leopardo (*Triakis semifasciata*), otro Triákido de la región (Kao, 2000). Esto podría sugerir que más del 97% de las presas encontradas en los estómagos de *G. galeus* podrían haber sido consumidas con un mínimo de 5 horas previo a la captura del tiburón, sin embargo, la variabilidad en los tiempos de digestión son especie-específicos, siendo influenciados tanto por factores ambientales como por rasgos propios de la biología del organismo (Bucking, 2015). Un ejemplo es la diferencia latitudinal en tasas de consumo y digestión observadas en *Sphyrna tiburo*. En latitudes donde el agua es más cálida, las necesidades metabólicas aumentan y con ellas, los procesos digestivos se aceleran (Bethea et al., 2007).

Se ha demostrado con anterioridad, la influencia que tiene la ración de ingesta alimenticia sobre la velocidad de digestión de la misma. En *Sphyrna lewini*, se han podido observar incrementos en la velocidad de digestión de hasta un 50% al reducir la ración de ingesta a 1/8 de lo registrado inicialmente, sugiriendo que al ingerir menor cantidad de alimento, el tracto gastrointestinal se prepara más rápido para la próxima ingesta (Bush & Holland, 2002)

El arte de pesca con el que es capturado *G. galeus* en el área de estudio es la de Redes Agalleras, como su nombre lo dice, son redes cuya luz de malla está pensada para que los peces queden atrapados de las agallas al tratar de atravesar la red.

Estas redes, son colocadas preferentemente al atardecer para evitar ser vistas por los peces (FAO, 2005). Teniendo control de los horarios de captura para los especímenes colectados, los porcentajes de llenado y los estados de digestión de las presas de *G. galeus*, podríamos proponer un horario de alimentación.

11.2 Espectro Trófico

G. galeus demostró ser un organismo mayormente piscívoro con un consumo ocasional de cefalópodos. Su evidente preferencia por *Synodus* sp. muestra una posible especialización que se repite en todos los estratos de análisis. Se había descrito el espectro trófico para *G. galeus* en Bahía Tortugas, B. C. S. con anterioridad (Di Filippo, 2018), mostrando la misma tendencia de especialización por el consumo de *Synodus* sp., sin embargo, los valores de Importancia Relativa fueron diferentes a los descritos en el presente estudio.

Esto puede deberse en parte a la metodología utilizada para la descripción cuantitativa del espectro trófico. Nuestro estadístico representante de la importancia de las especies presa en la dieta de *G. galeus* es el Índice de Importancia Relativa (%IIR) (Pinkas et al., 1971), el cuál utiliza las proporciones Numéricas (%N), Gravimétricas (%G) y de Frecuencia de aparición (%F.A.) de cada presa, siendo estas identificadas y clasificadas taxonómicamente de forma arbitraria por el identificador (Hyslop, 1980) en la dieta de *G. galeus*.

Por su parte, en el estudio previo, la importancia relativa de cada especie presa fue calculada a partir del Índice de Importancia Relativa Presa-Específico (%PSIRI), el cuál toma en cuenta las proporciones específicas de cada presa, con respecto a aquellos estómagos en los que fueron encontradas, eliminando las limitantes de no poder identificar a todas las presas al mismo nivel taxonómico.

Se ha comprobado la eficiencia estadística del %PSIRI por sobre el Índice de Importancia Relativa (%IIR) con anterioridad y se propone como una alternativa más precisa para abordar las importancias relativas de las presas en estudios de ecología alimentaria a partir de contenido estomacal (Brown et al., 2012). Otra diferencia metodológica con el trabajo de Di Filippo (2018) es la ausencia de una comparación entre estadios de madurez, contrario a lo observado en el presente estudio.

Dentro de los resultados obtenidos en el presente estudio se pudo observar que, a pesar de la notable preferencia por el consumo de *Synodus* sp., la importancia relativa de esta presa en los especímenes adultos es menor al de los ejemplares juveniles. Por otra parte, la preferencia por el consumo de *S. japonicus* en adultos es evidente, mientras que para los juveniles representa una presa muy rara.

Para el análisis por sexos ocurre un patrón similar, la proporción de consumo de *Synodus* sp. en machos es considerablemente menor a las hembras. A su vez, el consumo de *S. japonicus* en las hembras es prácticamente nulo, mientras que en machos representa una presa ocasional. *S. japonicus* es un Scómbrido pelágico que se desplaza en cardúmenes mayormente asociados a la superficie, pero con posibilidad de bajar hasta los 300 metros de profundidad (Collete & Nauen, 1983). Esto sugiere que los juveniles y las hembras forrajeen mayormente cerca del suelo marino, mientras que los machos y adultos se alimentan también en la zona pelágica. La misma tendencia es observada en el trabajo de Di Filippo (2018), mostrando un menor consumo de *Synodus* sp. en los machos con respecto a las hembras y, del mismo modo, un menor consumo de *S. japonicus* en la dieta de las hembras con respecto a la de los machos. Esto puede implicar un desplazamiento en la columna de agua por parte de los machos y adultos, para poder tener acceso a presas pelágicas (Scombridae), apoyando las migraciones diarias de hasta 600 metros en la columna de agua descritas con anterioridad para *G. galeus* (West & Stevens, 2001).

Los peces del género *Synodus*, que se encuentran en el área presentan un comportamiento sedentario, que los hace propensos a ser una presa de fácil acceso para *G. galeus*. Se postran en el bentos haciendo uso del camuflaje de su piel para no ser detectados por depredadores o presas, mientras acechan inmóviles para emboscar de forma repentina a su alimento (Rodríguez-Romero *et al.*, 2019).

G. galeus, como todos los elasmobranquios, tiene la capacidad de detectar presas cercanas por medio de sus órganos electroreceptores aún en condiciones de poca visibilidad como lo puede ser el fondo marino, lo que garantiza la accesibilidad a presas como *Synodus* sp.

En el presente estudio, *G. galeus* muestra un posible patrón de segregación para el forrajeo, donde hembras y juveniles tienden a forrajear en mayor cantidad del fondo marino, mientras que los machos y adultos parecen también tener contacto con presas pelágicas. Esto apoya lo descrito con anterioridad para el comportamiento social de *G. galeus*, donde existe segregación parcial por sexo y por tamaño (Ebert *et al.*, 2013).

11.3 Amplitud trófica y estrategia alimentaria

G. galeus mostró ser un organismo especialista tanto de forma general, como en todos los estratos de análisis. Esto apoya el estudio realizado en el Atlántico nororiental (Morato *et al.*, 2003), donde sugieren que *G. galeus* es un depredador especialista con un consumo preferencial de *Capros aper* (IIR=93.2). *C. aper* es un Cáprido de talla pequeña (Máximo 30 cm) asociado a los fondos arenosos (similar a *Synodus* sp.) y al coral. Se desplaza en grupos de varios individuos en la zona demersal, a donde *G. galeus* se asocia.

De forma contraria, se ha clasificado a *G. galeus* como un depredador piscívoro generalista en el Atlántico nororiental, donde los valores calculados para el Índice de Levins ascendieron a $B_i = 0.69$ (Ellis *et al.*, 1996).

Estas diferencias pueden deberse a la disponibilidad de presas, la estacionalidad, estadio de madurez y al sitio de muestreo. Se ha documentado una segregación estacional de las poblaciones juveniles de *G. galeus* influenciada por los sitios de crianza, con los que los juveniles tienen contacto los primeros años antes de desplazarse a sitios de mayor profundidad (Bethea *et al.*, 2006; Compagno, 1982).

En el trabajo de Di Filippo (2018), realizado para la misma zona de colecta, el valor de amplitud trófica calculado con el Índice de Levins estandarizado fue de $B_i = 0.127$ para *G. galeus* como especie, mientras que en los grupos evaluados por sexos se obtuvieron los valores $B_i = 0.16$ para hembras y $B_i = 0.213$ para los machos. Si bien sus resultados concuerdan con el presente trabajo catalogando a *G. galeus* como un depredador de tendencia especialista y con una amplitud trófica baja, la variación en los valores puede deberse a las diferencias metodológicas de análisis para el espectro trófico antes mencionadas.

Es necesario conocer las interacciones de *G. galeus* con otros depredadores en el área de estudio, dado que el nivel de especialización alimentaria puede estar influido por la competencia por recursos al compartir nicho con uno o más depredadores residentes (Papastamatiou, Wetherbee, & Lowe, 2006).

Se desconoce la abundancia poblacional de *Synodus* sp. en el área de estudio, por lo que los resultados de la estrategia alimentaria de *G. galeus*, no pueden ser determinantes. Si la abundancia de la presa preferente (*Synodus* sp. en este caso) es muy alta comparada con la de las otras presas encontradas en el contenido estomacal, la clasificación de *G. galeus* como depredador especialista dejaría de ser adecuada. El concepto de forrajeo óptimo nos indica que la selección de una presa puede estar influenciada por diversos factores, entre ellos la abundancia de la misma, la energía invertida en su captura, la energía que podrá aportar al ser consumida, entre otros (Pyke, 1984).

El conocer las dinámicas poblacionales de *Synodus* sp. y sus fluctuaciones estacionales en el área de estudio, así como el acceso a una metodología de muestreo para *G. galeus* que permita el análisis estacional de los contenidos estomacales podría permitir un acercamiento más direccionado a su interacción depredador-presa. Se ha descrito una dieta generalista con una gran amplitud trófica para *G. galeus* en Anegada Bay, Argentina durante gran parte del año, mientras que durante el verano astral, *G. galeus* presenta una fuerte especialización por el consumo de *Porichthys porosissimus*, un pez bentónico que a lo largo de ese periodo exhibe bioluminiscencia para el cortejo de las hembras, probablemente haciéndolo más visible para los depredadores (Lucifora et al., 2006). Del mismo modo, una aproximación al comportamiento de *Synodus* sp. como presa y como depredador en el área de estudio, con respecto a otras localidades, puede tener efectos sobre su disponibilidad ande la conducta de forrajeo de *G. galeus* (Carrier et al., 2012).

11.4 Traslape trófico

Al no existir diferencias significativas en la dieta de *G. galeus* por sexo ni estadio de madurez según la prueba de Análisis de Similitud (ANOSIM), se propone que la competencia intraespecífica por el recurso alimenticio en todos los estratos de análisis es evidente.

Para el estudio realizado por Di Filippo (2018) no existieron diferencias significativas entre los estratos de análisis a partir del Análisis de Similitud (ANOSIM), habiendo comparado únicamente entre machos y hembras ($R=0.002$, $p= 0.4$) coincidiendo con lo obtenido en el presente estudio.

Si bien, anteriormente se describe una segregación trófica por tamaño y sexo en la que machos y adultos forrajean en áreas pelágicas y acceden a presas como *Scomber japonicus*, las características especialistas de *G. galeus* y su notable preferencia por *Synodus* sp. en todos los estratos de análisis, confirman el gran traslape trófico obtenido en este análisis.

11.5 Nivel trófico

El nivel trófico calculado para *G. galeus* como especie en Bahía Tortugas, B.C. S. lo ubica como un depredador terciario del nivel más alto en la red trófica de su ecosistema. Esto coincide para todos los estratos de análisis siendo las hembras la que presentan los valores más altos ($NT=5.01$).

Cortés (1999) calculó la posición trófica de *G. galeus* con un valor de $NT= 4.2$, a partir de una extensa revisión de datos con un tamaño muestral total de 68 estómagos. Sus resultados, a pesar de mostrar un valor más bajo, coinciden con los obtenidos en el presente estudio.

En el presente estudio, el nivel trófico de los adultos presenta un valor más bajo con respecto a los juveniles ($NT= 4.89$, $NT=4.97$ respectivamente), contradiciendo lo propuesto para poblaciones en el Atlántico norte (Torres *et al.*, 2014). Ellos sugieren que *G. galeus* presenta un nivel trófico mayor al avanzar en estadios de madurez debido a que entre mayor sea el tamaño del organismo, mayores serán las presas que puede consumir.

Esto puede deberse a que las diferencias ambientales entre las áreas de muestreo influyen en la diversidad y disponibilidad de presas para el consumo de *G. galeus*. Dicho estudio fue realizado en la región de Azores, un grupo de islas al norte del Atlántico a los 38°N, directamente influenciadas por la corriente cálida del Golfo (Gould, 1985). Otra posible diferencia son las medidas de primera madurez para *G. galeus*. En el Atlántico se han descrito las medidas de primera madurez para *G. galeus* en 112cm para los machos y 123cm para las hembras (Walker et al., 2006), mientras que en el presente estudio se determinó la madurez sexual de los especímenes colectados a partir de los 124.8cm en machos y 135.6cm en las hembras.

El Nivel trófico reportado para *G. galeus* en Bahía Tortugas, B.C.S. en un estudio reciente fue de $NT=4.50 \pm 0.78$ como especie, clasificándose de igual forma como un depredador de nivel alto (Di Filippo, 2018).

12 Conclusiones

- *G. galeus* presenta una estrategia alimentaria especialista con consumo preferente por el pez *Synodus* sp.
- Los hábitos de forrajeo de *G. galeus* se desenvuelven principalmente en la zona demersal, alimentándose de presas asociadas al fondo marino y con consumo ocasional de presas pelágicas.
- *G. galeus* es un depredador principalmente piscívoro, con consumo ocasional de cefalópodos en Bahía Tortugas, B. C. S.
- La dieta de *G. galeus* no muestra diferencias significativas cuando es analizada por sexo ni por estadio de madurez, es decir, existe traslapo trófico entre machos y hembras, así como entre adultos y juveniles.
- La posición trófica de *G. galeus* es la de un consumidor terciario y depredador tope en Bahía Tortugas, B. C. S.

13 Recomendaciones

- Documentar de forma completa los porcentajes de llenado de los estómagos de *G. galeus* en los muestreos posteriores, de este modo se pueden abordar horarios de alimentación.
- Realizar estudios de reproducción en *G. galeus* para determinar las medidas de primera madurez de las poblaciones en Bahía Tortugas, B. C. S. Así, se podrían detallar con mayor seguridad las diferencias en la dieta por estadio de madurez.
- Realizar muestreos de mayor frecuencia en el área de estudio para obtener registrar diferencias estacionales en la dieta de *G. galeus*.

14 Literatura citada

- Amundsen, P.-A., Gabler, H.-M., & Staldvik, F. J. (1996). A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data—modification of the Costello (1990) method. *Journal of Fish Biology*, 48, 607–614.
- Amundsen, P. A., & Sánchez-Hernández, J. (2019). Feeding studies take guts – critical review and recommendations of methods for stomach contents analysis in fish. *Journal of Fish Biology*, 95(6), 1364–1373. <https://doi.org/10.1111/jfb.14151>
- Bergstad, O. A. (2009). Fish: Demersal Fish (Life Histories, Behavior, Adaptations). *Encyclopedia of Ocean Sciences*, 458–466. <https://doi.org/10.1016/B978-012374473-9.00673-1>
- Bernal, J. (2017). Edad y crecimiento del tiburón *Mustelus californicus* en el área de Bahía Tortugas, Baja California Sur. *Tesis Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. México*, 58.
- Bethea, D. M., Carlson, J. K., Buckel, J. A., & Satterwhite, M. (2006). Ontogenetic and site-related trends in the diet of the Atlantic sharpnose shark *Rhizoprionodon terraenovae* from the northeast Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 78(2), 287–307.
- Bethea, D. M., Hale, L., Carlson, J. K., Cortés, E., Manire, C. A., & Gelsleichter, J. (2007). Geographic and ontogenetic variation in the diet and daily ration of the bonnethead shark, *Sphyrna tiburo*, from the eastern Gulf of Mexico. *Marine Biology*, 152(5), 1009–1020. <https://doi.org/10.1007/s00227-007-0728-7>
- Bizzarro, J. J., Carlisle, A. B., Smith, W. D., & Cort, E. (2017). Diet Composition and Trophic Ecology of Northeast Pacific Ocean Sharks. *Advances in Marine Biology*, 77. <https://doi.org/10.1016/bs.amb.2017.06.001>

- Brown, S. C., Bizzarro, J. J., Cailliet, G. M., & Ebert, D. A. (2012). Breaking with tradition: Redefining measures for diet description with a case study of the Aleutian skate *Bathyraja aleutica* (Gilbert 1896). *Environmental Biology of Fishes*, 95(1), 3–20. <https://doi.org/10.1007/s10641-011-9959-z>
- Bucking, C. (2015). Feeding and Digestion in Elasmobranchs: Tying Diet and Physiology Together. In *Fish Physiology* (Vol. 34). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801286-4.00006-X>
- Bush, A., & Holland, K. (2002). *Food limitation in a nursery area : estimates of daily ration in juvenile scalloped hammerheads , Sphyrna lewini (Griffith and Smith , 1834) in Ka ne ' ohe Bay , ' ahua , Hawai ' i*. 278, 157–178.
- Carrier, J. C., Musick, J. A., & Heithaus, M. R. (2012). Biology of sharks and their relatives. *CRC Press LLC, Second Edi*(MARINE BIOLOGY), 596.
- Castillo-Geniz, J., & Tovar-Ávila, J. (2016). Tiburones mexicanos de importancia pesquera en la CITES. In *Instituto Nacional de Pesca*.
- Christensen, V., & Pauly, D. (1992). ECOPATH II - a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecological Modelling*, 61(3–4), 169–185. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(92\)90016-8](https://doi.org/10.1016/0304-3800(92)90016-8)
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (1994). Change in marine communities. *An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. Marine Laboratory, Plymouth.
- Clothier, C. R. (1950). A key to some southern California fishes based on vertebral characters. *California Department of Fish and Game, Fish Bulletin*, (79), 1–83.
Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:A+Key+to+Some+Southern+California+Fishes+Based+on+Vertebral+characters#0>
- Collete, B. B., & Nauen, C. E. (1983). FAO Species Catalogue. Vol. 2. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date. *FAO Fisheries Synopsis*, 125(2), 137.

- Colwell, R. K. (2006). *Statistical Estimation of species Richness and share species from samples*. Retrieved from URL.purl.oclc.org/estimates.
- Colwell, R. K., & Futuyma, D. (2017). On the measurement of niche breadth and overlap. *Ecology*, 52(4), 567–576. <https://doi.org/10.2307/1934144>
- Compagno, L. J. V. (1984). FAO Species Catalogue. Vol. 4. Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 2 - Carcharhiniformes. *FAO Fisheries Synopsis*, 125(4), 251–655.
- Compagno, L. J. V., Dando, D., & Fowler, S. (2005). *Sharks of the world. Princeton field guides*. London: Harper Collins Publishing Ltd.
- Compagno, L. J. V. (1982). Carcharhiniformes. *Sharks of the World, 1893*, 547–554.
- Cortés, E. (1999). Standardized diet compositions and trophic levels of sharks. *ICES Journal of Marine Science*, 56(5), 707–717. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0032701944&partnerID=40&md5=78b4f9632d620df3c82419858e663333>
- Cortés, Enric. (1997). A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: Application to elasmobranch fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54(3), 726–738. <https://doi.org/10.1139/f96-316>
- Curtis, H., Barnes, N. S., Schnek, A., & Massarini, A. (2008). *Biología* (Séptima Ed). Chile: Editorial médica Panamericana.
- Day, J. W., Hall, C. A., Kem, W. M., & Yañez-Arancibia, A. (1989). Estuarine ecology. *John Wiley & Sons. E.U.A.*, 558.
- Di Filippo, J. (2018). Ecología Trófica del Tiburón Sulfin, *Galeorhinus galeus* (LINNAEUS , 1758) en Bahía Tortugas, Baja California Sur. *Tesis Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. México*, 52.
- Ebert, D., Fowler, S., & Compagno, L. (2013). *Sharks of the world. A fully illustrated guide* (First). UK: Wild Nature Press.

- Ellis, J. R., Pawson, M. G., & Shackley, S. E. (1996). The Comparative Feeding Ecology of Six Species of Shark and Four Species of Ray (Elasmobranchii) In The North-East Atlantic. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 76(1), 89–106. <https://doi.org/10.1017/s0025315400029039>
- Escalante, A., Lucifora, L., & Menni, R. (2004). Reproductive biology of the school shark, *Galeorhinus galeus*, off Argentina: support for a single south western Atlantic population with synchronized migratory movements. *Environmental Biology of Fishes*, 71(2), 199–209.
- FAO. (2005). Guía del administrador pesquero. Medidas de ordenación y su aplicación. Retrieved from Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación website: <http://www.fao.org/3/y3427s/y3427s00.htm#Contents>
- Feinsinger, P., & Spears, E. (2012). A Simple Measure of Niche Breadth. *Ecology*, 62(1), 27–32.
- Francis, M. P., & Mulligan, K. P. (1998). Age and growth of New Zealand school shark, *Galeorhinus galeus*. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 32(3), 427–440. <https://doi.org/10.1080/00288330.1998.9516835>
- Froese, R., & Pauly, D. (2019). Fishbase. Retrieved February 4, 2019, from World Wide Web electronic website: www.fishbase.org
- Galván-Magaña, F. (1999). Relaciones tróficas interespecíficas de la comunidad de depredadores epipelágicos del Océano Pacífico Oriental. *Tesis Doctoral. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.*, 212.
- Gould, J. (1985). Physical Oceanography of the Azores Front. *Prog. Oceanography*, 14, 167–190.
- Guzmán Del Proo, S. A., Carrillo, S., Pereira, J., Mille, P., Guadarrama, S. P., De la Campa, R., ... Luque, G. A. C. (1991). La comunidad bentónica de los bancos de abulón (*Haliotis* spp. Mollusca: Gastropoda) en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. *Anales de La Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 36(January).

- Horn, H. S. (1966). Measurement of "Overlap" in Comparative Ecological Studies. *The American Naturalist*, 100(914), 419–424.
- Hurlbert, S. H. (1978). The Measurement of Niche Overlap and Some Relatives. *Ecology*, 59(1), 67–77. <https://doi.org/10.2307/1936632>
- Hyslop, E. J. (1980). Stomach contents analysis—a review of methods and their application. *Journal of Fish Biology*, 17(4), 411–429. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1980.tb02775.x>
- IUCN. (2019). The IUCN Red List of Threatened Species. Retrieved from Version 2019-2. website: <http://www.iucnredlist.org>.
- Juaristi-Videgaray, D. (2016). Biología reproductiva del Pez Guitarra *Pseudobatos productus* (Ayres 1856), en Baja California Sur, México. *Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional*, (Tesis de Maestría).
- Kao, J. S. (2000). *Diet, daily ration and gastric evacuation of the leopard shark (Triakis semifasciata)*. California State University, Hayward.
- Krebs. (1997). *Ecological Methodology PART ONE ESTIMATING ABUNDANCE IN ANIMAL AND PLANT POPULATIONS*.
- Krebs, C. J. (1999). *Ecological Methodology*. In *Menlo Park California. Addison Wesley Longman*. (Second Edit).
- Levins, R. (1968). *Evolution in changing environments: Some theoretical explorations*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Lucifora, L. O., García, V. B., Menni, R. C., & Escalante, A. H. (2006). *Lucifora et al., 2006. Food habits, selectivity, and foraging modes of the school shark Galeorhinus galeus. Marine Ecology Progress Series, 315, 259-270. 315, 259–270.* <https://doi.org/10.3354/meps315259>

- Merchant, P. F., Martínez, P. J. A., Chávez, A. M. M., & Tello, M. J. L. (2008). Estructuras que se toman en cuenta para la descripción de los otolitos. *Revista de Zoología*, *19*, 22–24.
- Morato, T., Solà, E., Grós, M. P., & Menezes, G. (2003). Diets of thornback ray (*Raja clavata*) and tope shark (*Galeorhinus galeus*) in the bottom longline fishery of the Azores, northeastern Atlantic. *Fishery Bulletin*, *101*(3), 590–602.
- Nelson, J. S. (2006). *Fishes of the World Fourth Edition Vol 1*.
- NOAA. (2020). What are pelagic fish?
- Papastamatiou, Y. P., Wetherbee, B. M., & Lowe, C. G. (2006). *Distribution and diet of four species of carcharhinid shark in the Hawaiian Islands : evidence for resource partitioning and competitive exclusion*. (May 2014).
<https://doi.org/10.3354/meps320239>
- Pinkas, L., Oliphant, M. S., & Iverson, I. L. K. (1971). Food Habits of Albacore, Bluefin Tuna, and Bonito In California Waters. *THE RESOURCES AGENCY DEPARTMENT OF FISH AND GAME FISH BULLETIN*, *152*(State of California).
- Pyke, G. H. (1984). Optimal Foraging Theory : A Critical Review. *Annual Review of Ecology and Systematics*, *15*(November 1984), 523–575.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.15.1.523>
- RAE. (2020). *Real Academia Española. Diccionario de la lengua española, 23.^a ed., [versión 23.3 en línea]*. Retrieved from <https://dle.rae.es>
- Rodríguez-romero, J., López-martínez, J., Ruth, M., Díaz, O., & Herrera-valdivia, E. (2019). *Dieta del pez chile lucio Synodus scituliceps (Aulopiformes: Synodontidae) en la Costa Este del Golfo de California, México*. *54*, 319–323.
- Roff, G., Doropoulos, C., Rogers, A., Bozec, Y. M., Krueck, N. C., Aurellado, E., ... Mumby, P. J. (2016). The Ecological Role of Sharks on Coral Reefs. *Trends in Ecology and Evolution*, *31*(5), 395–407. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.014>

- Sagar, M. V, Nair, R. J., & Gop, A. (2019). Stomach Content Analysis Techniques in Fishes. *ICAR -CMFRI -Winter School*, (January), 104–115.
- Schoener, T. W. (1971). Theory of feeding strategies. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2(17 1), 369–404.
- SEMARNAT. (2010). NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México deflora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Listado de especies en riesgo. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*, (Segunda Sección).
- Soto-Segoviano, J. (2014). *Colección Osteológica De Peces Teleosteos Marinos De Baja California Sur*. 319.
- Torres-Rojas, Y. E. (2011). Nicho trófico de pelágicos mayores capturados en la boca del Golfo de California. *Cicimar*, 164.
- Torres, P., da Cunha, R. T., Maia, R., & dos Santos Rodrigues, A. (2014). Trophic ecology and bioindicator potential of the North Atlantic tope shark. *Science of the Total Environment*, 481(1), 574–581. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.091>
- Trujillo-Olvera, A. (2015). *Espectro trófico del pez espada (Xiphias gladius Linneaus, 1758) en la costa occidental de Baja California Sur*. Instituto Politécnico Nacional IPN.
- Walker, T. I., Cavanagh, R. D., Stevens, J. D., Carlisle, A. B., Chiaramonte, G. E., Domingo, A., ... Vooren, C. M. (2006). *Galeorhinus galeus*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T39352A1. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2006.RLTS.T39352A10212764.en>
- West, G. J., & Stevens, J. D. (2001). Archival tagging of school shark, *Galeorhinus galeus*, in Australia: Initial results. *Environmental Biology of Fishes*, 60(1–3), 283–298.
- WoRMS Editorial Board. (2020). <https://doi.org/doi:10.14284/170>

Tabla 5. Espectro trófico general de *Galeorhinus galeus* en Bahía Tortugas, B.C.S.
 Método numérico (N%), método gravimétrico (%G), método de frecuencia de
 aparición (%F.A.), índice de importancia relativa (%IIR).¹

Taxa	Familia	%N	%G	%F.A.	%IIR
ACTINOPTERYGII					
<i>Synodus sp.</i>	Synodontidae	52.34	52.33	70.83	84.75
<i>Scomber japonicus</i>	Scombridae	9.38	25.75	18.75	7.53
<i>Sardinops caeruleus</i>	Clupeidae	9.38	5.85	18.75	3.26
<i>Seriola sp.</i>	Carangidae	3.13	1.28	8.33	0.42
<i>Caulolatilus princeps</i>	Malacanthidae	0.78	7.12	2.08	0.19
<i>Ophidion scrippsae</i>	Ophidiidae	2.34	0.57	4.17	0.14
<i>Zanolepis sp.</i>	Hexagrammidae	1.56	0.15	4.17	0.08
<i>Mycteroperca xenarcha</i>	Serranidae	0.78	2.19	2.08	0.07
<i>Parichthys myriaster</i>	Batrachoididae	0.78	1.57	2.08	0.06
<i>Citharichthys sp.</i>	Paralichthyidae	1.56	0.14	2.08	0.04
<i>Sarda chilensis</i>	Scombridae	0.78	0.75	2.08	0.04
<i>Auxis sp.</i>	Scombridae	0.78	0.55	2.08	0.03
<i>Sebastes sp.</i>	Sebastidae	0.78	0.51	2.08	0.03
<i>Eucinostomus sp.</i>	Gerridae	0.78	0.09	2.08	0.02
<i>Sphyræna sp.</i>	Sphyrænidae	0.78	0.08	2.08	0.02
<i>Paralichthys californicus</i>	Paralichthyidae	0.78	0.08	2.08	0.02
CEPHALOPODA					
<i>Otopus bimaculatus</i>	Otopodidae	10.94	1.00	22.92	3.13
MONI		2.34	0.06	6.25	0.17

Tabla 6. Espectro trófico de *Galeorhinus galeus* por Estadio de madurez (Adultos: A, Juveniles: J) en Bahía Tortugas, B.C.S. Método numérico (N%), método gravimétrico (%G), método de frecuencia de aparición (%F.A.), índice de importancia relativa (%IIR).

Taxa	Familia	A	J	A	J	A	J	A	J	
		%N		%G		%F.A.		%IIR		
ACTINOPTERYGII										
<i>Synodus</i> sp.	Synodontidae	48.94	54.32	45.88	64.69	53.33	78.79	68.40	89.26	
<i>Scomber japonicus</i>	Scombridae	17.02	4.94	32.64	12.56	33.33	12.12	22.39	2.02	
<i>Sardinops caeruleus</i>	Clupeidae	4.26	12.35	2.07	13.09	13.33	21.21	1.14	5.14	
<i>Seriola</i> sp.	Carangidae	4.26	2.47	0.48	2.80	13.33	6.06	0.85	0.30	
<i>Caulolatilus princeps</i>	Malacanthidae	2.13	0.00	10.85	0.00	6.67	0.00	1.17	0.00	
<i>Ophidion scriptosae</i>	Ophidiidae	4.26	1.23	0.29	1.10	6.67	3.03	0.41	0.07	
<i>Zoniopsis</i> sp.	Hexagrammidae	0.00	2.47	0.00	0.44	0.00	6.06	0.00	0.17	
<i>Mycteroperca xenorhca</i>	Serranidae	2.13	0.00	3.34	0.00	6.67	0.00	0.49	0.00	
<i>Pomchthys myriaster</i>	Baracroididae	2.13	0.00	2.40	0.00	6.67	0.00	0.41	0.00	
<i>Citharichthys</i> sp.	Paralichthyidae	0.00	2.47	0.00	0.41	0.00	3.03	0.00	0.08	
<i>Sarda chilensis</i>	Scombridae	0.00	1.23	0.00	2.19	0.00	3.03	0.00	0.10	
<i>Axixis</i> sp.	Scombridae	0.00	1.23	0.00	1.61	0.00	3.03	0.00	0.08	
<i>Sebastes</i> sp.	Sebastidae	2.13	0.00	0.78	0.00	6.67	0.00	0.26	0.00	
<i>Eucinostomus</i> sp.	Gerridae	0.00	1.23	0.00	0.26	0.00	3.03	0.00	0.04	
<i>Sphyræna</i> sp.	Sphyrænidae	2.13	0.00	0.05	0.00	6.67	0.00	0.20	0.00	
<i>Paralichthys californicus</i>	Paralichthyidae	0.00	1.23	0.00	0.08	0.00	3.03	0.00	0.04	
CEPHALOPODA										
<i>Octopus bimaculatus</i>	Octopodidae	10.64	11.11	1.22	0.59	26.67	21.21	4.28	2.36	
MONI		0.00	3.70	0.00	0.17	0.00	9.09	0.00	0.34	

Tabla 7. Espectro trófico de *Galeorhinus galeus* por Sexo en Bahía Tortugas, B.C.S.
 Método numérico (N%), método gravimétrico (%G), método de frecuencia de
 aparición (%F.A.), índice de importancia relativa (%IIR).

Taxa	Familia	M	H	M	H	M	H	M	H	%IIR			
		%N				%G				%F.A.		%IIR	
ACTINOPTERYGII													
<i>Synodus</i> sp.	Synodontidae	51.52	53.23	47.53	59.69	73.08	68.18	77.62	88.55				
<i>Scomber japonicus</i>	Scombridae	15.15	3.23	38.67	5.97	26.92	9.09	15.54	0.96				
<i>Sardinops caeruleus</i>	Clupeidae	10.61	8.06	4.78	7.49	23.08	13.64	3.81	2.44				
<i>Seriola</i> sp.	Carangidae	1.52	4.84	0.48	2.50	3.85	13.64	0.08	1.15				
<i>Caulaltilus princeps</i>	Malacanthidae	0.00	1.61	0.00	18.04	0.00	4.55	0.00	1.03				
<i>Ophidion scrippsae</i>	Ophidiidae	4.55	0.00	0.94	0.00	7.69	0.00	0.45	0.00				
<i>Zanolepis</i> sp.	Hexagrammidae	1.52	1.61	0.13	0.19	3.85	4.55	0.07	0.09				
<i>Mycteroperca xenarcha</i>	Serranidae	1.52	0.00	3.63	0.00	3.85	0.00	0.21	0.00				
<i>Porichthys myriaster</i>	Batrachoididae	0.00	1.61	0.00	3.98	0.00	4.55	0.00	0.29				
<i>Citharichthys</i> sp.	Paralichthyidae	0.00	3.23	0.00	0.36	0.00	4.55	0.00	0.19				
<i>Sarda chiliensis</i>	Scombridae	1.52	0.00	1.24	0.00	3.85	0.00	0.11	0.00				
<i>Auxis</i> sp.	Scombridae	1.52	0.00	0.91	0.00	3.85	0.00	0.10	0.00				
<i>Sebastes</i> sp.	Sebastidae	0.00	1.61	0.00	1.29	0.00	4.55	0.00	0.15				
<i>Eucinostomus</i> sp.	Gerridae	1.52	0.00	0.15	0.00	3.85	0.00	0.07	0.00				
<i>Sphyræna</i> sp.	Sphyrænidae	0.00	1.61	0.00	0.09	0.00	4.55	0.00	0.09				
<i>Paralichthys californicus</i>	Paralichthyidae	0.00	1.61	0.00	0.07	0.00	4.55	0.00	0.09				
CEPHALOPODA													
<i>Octopus bimaculatus</i>	Octopodidae	7.58	14.52	1.53	0.20	19.23	27.27	1.88	4.62				
MONI		1.52	3.23	0.01	0.14	3.85	9.09	0.06	0.35				