



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR  
Área de Conocimiento de Ciencias del Mar  
Departamento de Biología Marina

ANÁLISIS TROFO-DINÁMICO DEL TIBURÓN  
MARTILLO *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) EN  
EL GOLFO DE TEHUANTEPEC, MÉXICO.

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
DOCTOR EN CIENCIAS

PRESENTA  
M. en C. Nallely Ariadna Aguilar Castro

DIRECTORES  
Dr. Héctor Reyes Bonilla (UABCS)  
Dr. Leonardo Andrés Abitia Cárdenas (IPN-CICIMAR)

La Paz, Baja California Sur, México  
Diciembre de 2010

# INDICE

	i
<i>Listado de figuras</i>	iii
<i>Listado de tablas</i>	iv
<i>Resumen</i>	
	<i>Páginas</i>
I. Introducción	1
II. Antecedentes	7
1. Sistemática	7
2. Sinonimias	7
3. Nombres comunes	7
4. Diagnósis de la especie	7
5. Distribución	9
6. Pesquería	11
7. Biología	12
8. Parámetros ambientales (temperatura superficial del mar y clorofila a)	16
III. Justificación	19
IV. Objetivo general	20
V. Objetivos particulares	20
VI. Área de estudio	21
VII. Metodología	26
a. Trabajo de campo	26
b. Trabajo de laboratorio	28
c. Análisis de datos	29
1. Análisis de hábitos alimenticios	29
1.1. Métodos cuantitativos	29
1.2. Análisis estadísticos	30
1.3. Amplitud trófica	32
1.3.1. Índice estandarizado de Levins	32
2. Análisis calorimétricos	33
2.1. Determinación de humedad	33
2.2. Determinación de cenizas	34
2.3. Determinación de energía	34
3. Imágenes de satélite y energética del tiburón martillo	38
4. Relación de CPDP (captura/días de pesca) con parámetros ambientales	41
VIII. Resultados	42
1. Análisis de tallas	42
2. Porcentaje de llenado del estómago y estado de digestión de las presas	44

3. Espectro trófico del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i>	45
3.1. Métodos cuantitativos	45
3.2. Índice de importancia relativa	60
3.3. Análisis estadísticos	62
3.4. Amplitud trófica	68
4. Análisis calorimétricos	70
4.1. Contenido energético de los tejidos muscular, hepático y gonádico	70
4.2. Almacenamiento energético total (AET)	79
4.3. Contenido energético de la dieta	81
5. Imágenes de satélite y energética del tiburón martillo	83
6. Parámetros ambientales y CPUE del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> en la región del Golfo de Tehuantepec	88
6.1. Estacionalidad en el muestreo	88
6.2. Abundancia del tiburón martillo en las capturas	89
	92
IX. Discusión	92
X. Conclusiones	116
Glosario	118
Literatura Citada	124
Anexo I	144
Estacionalidad de los registros de tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> , durante 2006, en la región del Golfo de Tehuantepec	
Anexo II	
Procedimientos de determinación de los porcentajes de Humedad y Cenizas de los tejidos Gonádico, Muscular, Hepático así como de las presas contenidas en la dieta.	146

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Producción pesquera de tiburón en peso vivo (toneladas) del estado de Oaxaca de 1980 a 2005 (Anuario Estadístico de Pesca, 2003).....	5
Figura 2. Cabeza del tiburón martillo <i>S. lewini</i> (vista ventral y dorsal). .....	8
Figura 3. Dientes tiburón martillo <i>S. lewini</i> . .....	8
Figura 4. Vista lateral del tiburón martillo <i>S. lewini</i> . .....	9
Figura 5. Mapa de distribución del tiburón martillo <i>S. lewini</i> .....	11
Figura 6. Área de estudio. Campo pesquero Ensenada Chipehua en el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca. ....	22
Figura 7. Batimetría del Golfo de Tehuantepec. ....	22
Figura 8. Porcentaje de organismos utilizados para caracterizar la dieta del tiburón martillo <i>S. lewini</i> en el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca. ....	42
Figura 9. Estacionalidad de los registros de juveniles y en desarrollo, así como adultos de tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> en el golfo de Tehuantepec, Oaxaca. ....	43
Figura 10. Espectro trófico combinado (tres métodos de análisis) del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> durante el año 2004.....	45
Figura 11. Espectro trófico combinado (tres métodos de análisis) del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> durante el año 2005. ....	48
Figura 12. Espectro trófico combinado (tres métodos de análisis) del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> durante el año 2006. ....	49
Figura 13. Índice de importancia relativa (%IIR) de la dieta del tiburón martillo ( <i>S. lewini</i> ) de los 3 años de muestreo.....	59
Figura 14. Dendograma de 3 longitudes de clase para los 3 años de estudio, utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis y el método de agrupamiento por promedio.....	60
Figura 15. Dendograma de 12 longitudes de clase para la dieta analizada en el año 2004, utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis y el método de agrupamiento por promedio.....	61
Figura 16. Curva de Dominancia porcentual acumulada por años	65
Figura 17. Curva de Dominancia porcentual acumulada por edad relativa.....	65
Figura 18. Curva de Dominancia porcentual acumulada por sexo.....	66
Figura 19. Amplitud trófica (Bi) del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> , derivado del índice estandarizado de Levins (promedio general) .....	67
Figura 20. Amplitud trófica (Bi) por sexos del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> para los 3 años de estudio, derivado del índice estandarizado de Levins.....	68
Figura 21. Amplitud trófica (Bi) por tallas del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> para los 3 años de estudio, derivado del índice estandarizado de Levins.....	68
Figura 22. Análisis de Varianza Kruskal-Wallis del contenido	

energético (VCMS) expresados en kcal/g de los tejidos tejido hepático, gonádico y muscular del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> .....	70
Figura 23. Análisis de varianza (ANOVA) del contenido energético expresado (VCMS) en kcal/g del tejido muscular.....	72
Figura 24. Análisis de varianza (ANOVA) del contenido energético expresado (VCMS) en kcal/g del tejido hepático.....	73
Figura 25. Análisis de varianza (ANOVA) del contenido energético expresado (VCMS) en kcal/g del tejido gonádico.....	75
Figura 26. Contenido energético (VCMS) en tejido gonádico expresado en kcal/g por sexos del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> durante el 2006.....	76
Figura 27. Relaciones lineales de la longitud total (LT) del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> . ....	79
Figura 28. Imágenes de Satélite de la Temperatura superficial del mar (TSM) en la región del Golfo de Tehuantepec (MODIS) ....	85
Figura 29. Imágenes de Satélite de Clorofila a en la región del Golfo de Tehuantepec (MODIS).....	86
Figura 30. Relación del Almacenamiento Energético Total (AET) en el tiburón martillo con parámetros ambientales. ....	84
Figura 31. Porcentaje de capturas del tiburón martillo con base al arte de pesca de los tres años de estudio .....	87
Figura 32. Estacionalidad en la captura del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> durante 2004, 2005 y 2006, en el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca.....	88
Figura 33. Relación de la intensidad del viento (Km/h) sobre las concentraciones de Clorofila a en el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca.....	89
Figura 34. Relación de la temperatura superficial del mar (°C) sobre las concentraciones de Clorofila a en el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca.....	89
Figura 35. Relación de la temperatura superficial del mar (°C) sobre la captura por día de trabajo (CPDP) del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> , en el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca.....	90

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Tabla comparativa de los parámetros del modelo de crecimiento Von Bertalanffy.....	13
Tabla 2. Categorías alimenticias de la dieta del tiburón martillo <i>S. lewini</i> para el año 2004.....	45
Tabla 3. Categorías alimenticias de la dieta del tiburón martillo <i>S. lewini</i> para el año 2005.....	47
Tabla 4. Categorías alimenticias de la dieta del tiburón martillo <i>S. lewini</i> para el año 2005.....	50
Tabla 5. Categorías alimenticias de la dieta del tiburón martillo <i>S. lewini</i> , en base al intervalo de talla y sexo, para el año 2004.....	52
Tabla 6. Categorías alimenticias de la dieta del tiburón martillo <i>S. lewini</i> , en base al intervalo de talla y sexo, para el año 2005.....	54
Tabla 7. Categorías alimenticias de la dieta del tiburón martillo <i>S. lewini</i> , en base al intervalo de talla y sexo, para el año 2006.....	57
Tabla 8. Análisis de similitud (ANOSIM). Prueba de pares sexo, edad relativa y años de muestreo.....	61
Tabla 9. Disimilitud entre grupos: (a) 2004 vs. 2005, (b) 2004 vs. 2006 y (c) 2005 vs. 2006. ....	63
Tabla 10. Disimilitud entre grupos: Juveniles vs. Adultos.....	63
Tabla 11. Disimilitud entre grupos: Hembras vs. Juveniles.....	64
Tabla 12. Determinaciones calorimétricas, promedio anual, del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> en el Golfo de Tehuantepec, durante 2006.....	70
Tabla 13. Determinaciones calorimétricas, promedio mensual, del tejido muscular del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> en el Golfo de Tehuantepec, durante 2006. ....	71
Tabla 14. Determinaciones calorimétricas, promedio mensual, del tejido hepático del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> en el Golfo de Tehuantepec, durante 2006.....	73
Tabla 15. Determinaciones calorimétricas, promedio mensual, del tejido gonadal del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> en el Golfo de Tehuantepec, durante 2006.....	74
Tabla 16. Determinaciones calorimétricas, promedio mensual, (a) hembras y (b) machos de tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> en el Golfo de Tehuantepec, durante 2006.....	77
Tabla 17. Almacenamiento energético total (AET) del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> en el Golfo de Tehuantepec, durante 2006.....	80
Tabla 18. Determinaciones calorimétricas, de las principales presas contenidas en la dieta del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> en el Golfo de Tehuantepec, durante 2006.....	81
Tabla 19. Espectro trófico energético de las principales presas contenidas en la dieta del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> en el Golfo de Tehuantepec, durante 2006.....	82
Tabla 20. Estadísticos de la regresión múltiple: $R = 0.33$ ; $R^2 = 0.11$ ; $F(2,6) = 0.37$ ; $p < 0.70$ ; error estándar = 2.34.....	83
Tabla 21. Estadísticos de la regresión múltiple: $R = 0.5$ ; $R^2 = 0.3$ ; $R^2$ ajustada = 0.1; $F(3,17) = 2.5$ ; $p < 0.08$ ; error estándar = 6.04.....	90

## RESUMEN

El Golfo de Tehuantepec es un área importante para el crecimiento y desarrollo de distintas especies de peces pelágicos. El tiburón martillo *Sphyrna lewini* es la especie más importante en la pesquería de tiburones de esta zona; sin embargo, se conoce poco de la biología de esta especie, lo cual dificulta la realización de estudios del potencial pesquero para su explotación. El tiburón martillo es un depredador ápice que podría influir en el equilibrio del ecosistema en el Golfo de Tehuantepec; sin embargo se desconoce la dinámica trófica de este depredador en la región, por lo cual el objetivo del presente estudio fue el analizar su dinámica energética mediante el consumo, almacenamiento y distribución de la energía en el Golfo de Tehuantepec, México. Las muestras se recolectaron durante 2004 a 2006 en el campo pesquero Ensenada Chipehua, Oaxaca. Se dividió en grupos basado en el sexo y estadio de madurez de los organismos y se analizaron los contenidos estomacales por medio de índices cuantitativos para observar las variaciones de la dieta por año, sexo y madurez. Asimismo se relacionaron parámetros ambientales (temperatura superficial del mar, clorofila "a" e intensidad del viento) con la captura del tiburón martillo. Se obtuvieron muestras de tejido hepático, gonádico y muscular para determinar los valores energéticos de la especie. El espectro trófico del tiburón martillo estuvo compuesto por 33 especies presas, de las cuales, las más importantes fueron: peces epipelágicos (*Auxis thazard*, *Coryphaena spp.* y *Euthynnus lienatus*), crustáceos bentónicos (*Litopenaeus vannamei*) y cefalópodos mesopelágicos (*Mastigoteuthis dentata*). Existe una diferencia por estadio de madurez del tiburón en el espectro trófico, en la cual los juveniles se alimentaron de presas pequeñas de hábitat bentónico; mientras que los adultos consumieron presas de mayor tamaño como el barrilete y el dorado de hábitat epipelágico. El análisis del contenido energético en los tejidos muscular, gonádico y hepático del tiburón martillo, indicó que en el hígado se localizó la mayor cantidad de energía almacenada (6.68 kcal/g), seguido por las gónadas (4.87 kcal/g) y músculo (4.25 kcal/g). De las especies presa, el calamar (*Lolliguncula sp.*) fue la presa que aportó un mayor contenido de energía a la dieta del tiburón martillo (5.55 kcal/g); sin embargo, considerando la biomasa registrada en el espectro trófico y el porcentaje de calorías contenida en la presa, *Auxis thazard* fue la presa más importante en la dieta, el aporte energético al tiburón martillo es de (691, 526.42). El patrón de almacenamiento

energético total indicó que el almacenamiento de energía en el tiburón martillo fue mayor en el mes de marzo, y sus variaciones pueden estar relacionado a la época de apareamiento de la especie. Se consideró al tiburón martillo como un depredador oportunista en la región al alimentarse de las presas disponibles estacionalmente. Las variaciones en los valores energéticos del tiburón martillo pueden relacionarse a un retraso entre el consumo del alimento en la región y la acumulación de energía que posteriormente se emplea en los diferentes procesos metabólicos.

## I. INTRODUCCIÓN

El grupo de peces cartilagosos ó Chondrichthyes, que incluye a los tiburones, tiene alrededor de 470 especies (Coello, 2005). La supervivencia de los tiburones a través del tiempo es resultado de una exitosa adaptación al medio, producto de diversas características biológicas (NOAA, 1991). En los últimos 400 millones de años (Carrier *et al.*, 2004), los tiburones han desarrollado una alta diversidad en formas, que los hacen tener distintos tipos de comportamientos y explotar diferentes hábitats (Springer y Gold, 1989). Los tiburones son una fuente importante de alimento, por lo que su captura al igual que su consumo tienen marcadas repercusiones sociales y económicas (Soriano-Velásquez y Acal-Sánchez, 2003).

Un factor a considerar en la supervivencia de los tiburones es que sus características biológicas y el papel ecológico que desempeñan, sugieren que pueden ser particularmente vulnerables a la presión pesquera (Stevens *et al.*, 2000). Debido a su longevidad, el crecimiento lento, una maduración sexual tardía y una baja fecundidad reflejan un bajo potencial reproductivo en la mayoría de las especies, por lo que a nivel mundial ha surgido el interés y la preocupación del efecto generado por el impacto de las capturas sobre sus poblaciones (Bonfil, 1994).

Se tiene conocimiento de que la eliminación de un depredador tope en los ecosistemas marinos puede provocar indeseables consecuencias en el ambiente y en otros recursos pesqueros (Bonfil, 1994). De ahí la relevancia biológica de los tiburones, los cuales por ser tope de la cadena alimenticia,

cumplen un papel importante de control sobre otros organismos que son las presas, por lo cual, regulan las poblaciones de organismos en el ecosistema oceánico (Bonfil, 1994). Otra característica a considerar en la significancia biológica de estos depredadores, es que pueden actuar como carroñeros ayudando a eliminar de las aguas los animales muertos, impidiendo así la propagación de enfermedades; o bien eliminando a las presas débiles o enfermas fortaleciendo así la composición genética de las poblaciones de presas (Lucifora, 2003).

El conocimiento de los hábitos y comportamiento alimenticio permite determinar el efecto que los tiburones tienen sobre otros organismos a través de la depredación y la competencia; además de constituir una fuente primaria de información relevante para el ordenamiento y manejo sustentable de las pesquerías (NOAA Fisheries, 2007).

Los ecólogos tienen gran interés en las relaciones alimenticias, vías de nutrientes y energía dentro de las comunidades marinas. El conocimiento de la selección de presas es una vía para seguir el flujo de energía y de nutrientes (Rau *et al.*, 1983). Estos procedimientos permiten conocer la historia natural de las especies, su papel en los ecosistemas y el impacto de la depredación sobre presas que son económicamente importantes o puedan estar en peligro de extinción (Wetherbee y Cortés, 2004).

En el caso de los tiburones, es importante conocer qué presa comen, las tasas de ingestión y digestión, así como el análisis de sus nutrientes

(Wetherbee y Cortés, 2004). Una forma de conocer estos procesos, es midiendo la energía (calorías) que el tiburón obtiene mediante el alimento y como es utilizada en los procesos metabólicos (De Silva y Anderson, 1995), ya sea convirtiéndola en biomasa, gametos o para compensar las variaciones ambientales (Evans, 1993). Por ello el empleo del análisis calorimétrico (medición del contenido energético de la dieta) es muy importante para conocer especies relevantes de la fisiología energética (Babor y Ibarz-Aznavar, 1956).

Con respecto al conocimiento de los parámetros ambientales tales como la temperatura, salinidad, concentración de clorofila, sistema de vientos y corrientes, son considerados como factores de gran importancia en la distribución, concentración y desarrollo de los recursos pesqueros (Segura *et al.*, 2000) como es el caso de los tiburones. De esta manera los cambios producidos en el entorno marino se ven reflejados directamente en la disponibilidad de tales recursos, ya que algunas veces estos están más accesible a las artes de pesca en zonas cercanas a la costa y en otras, por el contrario se ve forzado a que se presenten de forma dispersa y en zonas más oceánicas (Segura *et al.*, 2000).

Es importante conocer qué parámetros ambientales podrían influir sobre la distribución y abundancia de los elasmobranchios. Se han realizado investigaciones donde la temperatura del mar es la que mayor efecto presenta (Klimley, 1988). Sin embargo, la información de una posible asociación entre los tiburones y las fronteras termales no era posible en el pasado debido a la dificultad de obtener a la par datos de captura y datos hidrográficos que cubran

un área extensa (Klimley, 1988). Por ello la utilización de los sensores remotos ha sido actualmente muy importante, ya que se puede procesar e interpretar mediciones de la radiación emitida y reflejada por la superficie del mar, con el propósito de estudiar la física y la bio-geoquímica del océano sin tener un contacto directo con ella (Bosque-Sendra, 1990; Gallegos-García y Barberán-Falcón, 1998; Miller y McKee, 2004; NASA, 2007).

Los sensores remotos miden la radiación electromagnética en distintas bandas de longitud de onda para obtener la información necesaria y estimar, entre otros aspectos, la temperatura y la concentración de clorofila *a* de la superficie del mar (Gallegos-García y Barberán-Falcón, 1998). En la actualidad el uso de sensores es muy útil en las operaciones oceanográficas asociadas a las pesquerías, apoyando al comercio marítimo y mejorando la investigación oceanográfica (Gallegos-García y Barberán-Falcón, 1998).

La región del Golfo de Tehuantepec, Oaxaca es una de las áreas de pesca de tiburones más importante de todo México (Castillo-Géniz *et al.*, 1998). Esta región es una zona de crecimiento y alimentación para diversas especies ya que presenta una alta productividad derivada de los procesos de surgencia generados por los vientos “tehuanos” (o nortes) (Gallegos-García y Barberán-Falcón, 1998) y por lo tanto ofrece disponibilidad de alimento para múltiples depredadores (Instituto Nacional de Pesca, 1999-2000). La naturaleza estacional de los vientos tehuanos introduce una fuerte dinámica oceanográfica de las propiedades químico-biológicas del golfo. Durante la temporada de nortes, el Golfo de Tehuantepec actúa como un flujo de nutrientes y carbono

fitoplanctónico, enriqueciendo las aguas adyacentes en el Pacífico Oriental Tropical (Lara-Lara *et al.*, 1998).

En las décadas de 1980 y 1990, la producción de tiburón en el Golfo de Tehuantepec adquirió una gran importancia ya que a pesar de constituir una pesquería de tipo artesanal, el volumen de captura anual se incrementó, dado el aumento en la demanda del producto (Tapia-García y Gutiérrez-Díaz, 1998). Sin embargo, en los últimos 10 años se ha observado una disminución considerable en los volúmenes de producción sin que se tenga un ordenamiento, regulación o plan de manejo, aprovechamiento y conservación del recurso (Fig. 1) (Tapia-García y Gutiérrez-Díaz, 1998; Soriano-Velásquez y Acal-Sánchez, 2003), lo cual ha dado como resultado que se considere actualmente al tiburón como un recurso que pueda ser afectado por una sobreexplotación en la región (Tapia-García y Gutiérrez-Díaz, 1998).

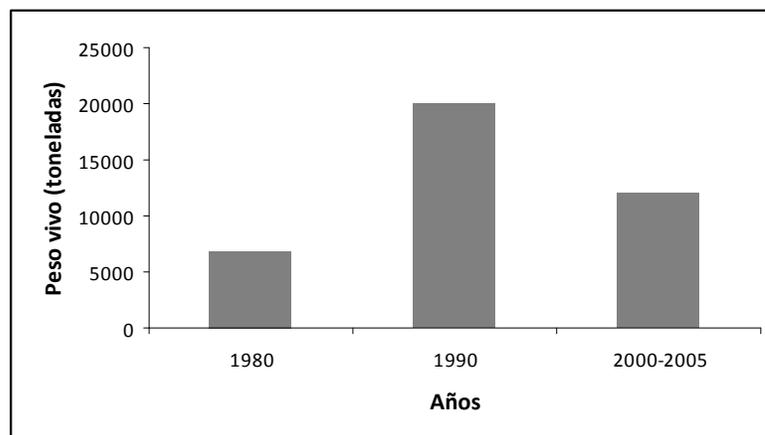


Figura 1. Producción pesquera promedio de tiburón en peso vivo (toneladas) del estado de Oaxaca de 1980 a 2005 (Anuario Estadístico de Pesca, 2003; Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Informática (INEGI), 2005).

En el Golfo de Tehuantepec la pesquería de tiburón está constituida al menos por ocho especies, donde las capturas se realizan principalmente con palangre, cimbra o red (Soriano-Velásquez y Acal-Sánchez, 2003). Entre los años 2004 y 2006, el tiburón martillo fue la segunda especie de tiburón más abundante en la pesquería de la región de la captura (Soriano-Velásquez y Acal-Sánchez, 2003; Bejarano-Álvarez, 2007). Asimismo se considera a esta región como una área de agregación de hembras grávidas y juveniles (CONAPESCA-INP, 2004).

En este contexto, en el presente estudio se analizó la dinámica energética del tiburón martillo *Sphyrna lewini* en el Golfo de Tehuantepec, mediante el consumo, almacenamiento y distribución de la energía, así como la relación de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) relacionado con los parámetros ambientales de temperatura superficial del mar y las concentraciones de clorofila *a* e intensidad del viento. La información resultante es de suma relevancia, ya que no se ha generado para esta especie en la zona, y podría ser utilizada en conjunción con otros estudios de biología básica del tiburón martillo, como base para recomendar medidas de manejo pesquero o conservación de este importante recurso pesquero en el Golfo de Tehuantepec.

## II. ANTECEDENTES

### 1.- Sistemática

Arreglo sistemático de la especie con en base a Allen (2006):

Clase Chondrichthyes

Subclase Elasmobranchii

Orden Carcharhiniformes

Familia Sphyrnidae

*Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834)

### 2.- Sinonimias:

*Sphyrna diplana* (Springer, 1941)

### 3.- Nombres comunes (Compagno, 1984):

Martillo, pez martillo, tiburón martillo, cornuda común (Español); Scalloped hammerhead (Inglés); Requin-marteau halicorne (Francés); Cambeva (Portugués) Bogenstirn- Hammerhai (Alemán).

### 4.- Diagnósis de la especie (tomado de Compagno, 1984):

Se caracteriza por presentar dos expansiones laterales en la cabeza por delante de las hendiduras branquiales, adoptando forma de martillo o hacha (Fig. 2). Expansiones muy anchas pero longitudinalmente cortas, el margen anterior de la cabeza muy ancho y curvo, con prominentes depresiones o escotaduras en su parte media y a ambos lados.

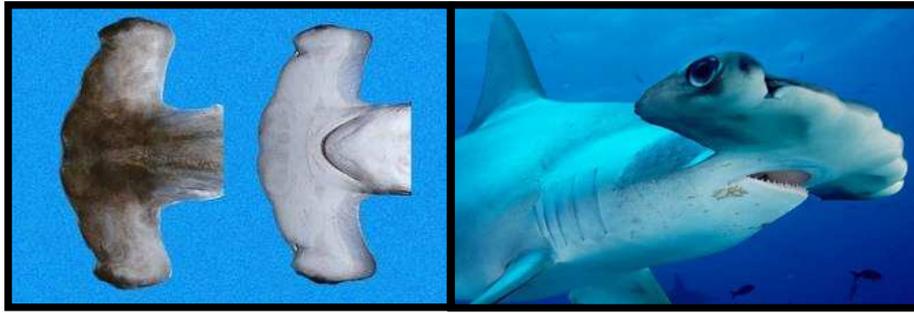


Figura 2. Cabeza del tiburón martillo *S. lewini* (vista ventral y dorsal)

Surcos prenasales bien desarrollados por delante de las narinas (orificios nasales). Extremo posterior de los ojos ligeramente por delante de la sínfisis superior de la boca. Boca amplia y curva. Dientes anteriores con cúspides moderadamente largas, anchas a delgadas, lisas o débilmente aserradas; dientes posteriores usualmente cuspidados, sin quillas y molariformes (Fig. 3).

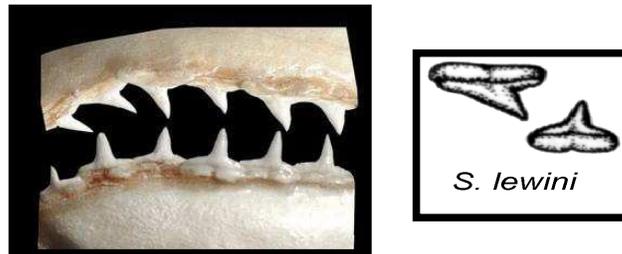


Figura 3. Dientes de tiburón martillo *S. lewini*

Primera dorsal moderadamente falcada. Origen de la primera dorsal sobre o ligeramente por delante de la inserción de las pectorales; su extremo posterior bien anterior al origen de las pélvicas. Segunda dorsal baja, menor que la altura de la anal, con margen posterior apenas cóncavo; margen interno largo, aproximadamente el doble de su altura y con su extremo posterior casi

opuesto al origen del lóbulo dorsal de la caudal. Aletas pélvicas no falcadas, con márgenes posteriores estrechos o apenas cóncavos. Aleta anal más larga que la segunda dorsal; su origen bien por delante del origen de la segunda dorsal; su margen posterior apenas cóncavo, con 174 a 209 centros vertebrales (Fig. 4).

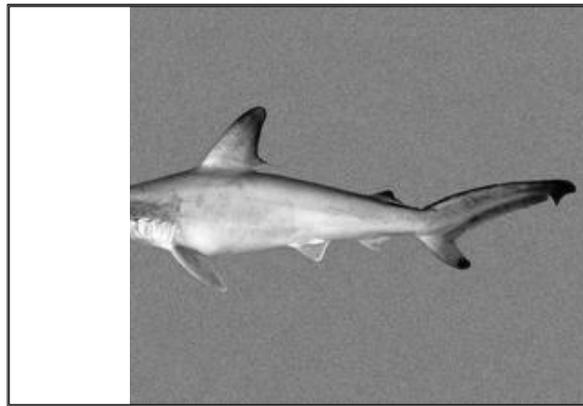


Figura 4. Vista lateral del tiburón martillo *S. lewini*

La talla de los adultos puede alcanzar los 370 a 420 cm de longitud total como máximo (Compagno, 1984; Cervigón, 1992), siendo lo común hasta 300 cm (Cervigón *et al.*, 1992). En el caso de los machos adultos, pueden alcanzar los 295 cm, mientras que las hembras unos 309 cm de longitud total (Compagno, 1984).

## 5.- Distribución

*Sphyrna lewini* es una especie pelágica costera, y probablemente el tiburón martillo más abundante a nivel mundial en aguas cálidas y tropicales. Se encuentra desde aguas superficiales hasta profundidades de 450 m sobre la

plataforma continental y declives insulares, así como en las aguas profundas adyacentes (Compagno, 1984; Klimley, 1993). Realiza incursiones frecuentemente en la zona costera, bahías y estuarios (Compagno, 1984). Los tiburones martillo juveniles se encuentran cerca de la costa y forman cardúmenes en las diferentes etapas de su vida, aunque es posible encontrar individuos solitarios tanto juveniles como adultos (Compagno, 1984), mientras que los adultos frecuentemente se les encuentra en parejas (Cervigón *et al.*, 1992). El tiburón martillo es una especie migratoria, que se mueve en grandes cardúmenes desde el trópico hasta altas latitudes y viceversa (Compagno, 1984).

El tiburón martillo presenta una distribución circumglobal en aguas costeras cálidas y mares tropicales (Compagno, 1988; Fig. 5). En el Atlántico sudoccidental se encuentra desde New Jersey (EUA) a Uruguay (Gilbert, 1967; Menni y Lucifora, 2007), incluyendo el Golfo de México y el Caribe. En el Atlántico sudoriental se localiza desde el Mediterráneo (McEachran y Capapé, 1984) a Namibia (Springer, 1990). En el Indo-Pacífico, se ubica desde el Mar Rojo, este de África y en el océano Índico de Japón a Nueva Caledonia (Compagno, 1984). Finalmente, en el Pacífico oriental va desde el sur de California (EUA) a Ecuador y probablemente Perú (Compagno, 1984).



Figura 5. Mapa de distribución del tiburón martillo *S. lewini* (fuente: Baum *et al.*, 2007).

## 6.- Pesquería

Las pesquerías artesanales de tiburones han sido una fuente importante de alimento y empleo en México durante muchos años. Esta pesquería es multiespecífica y está basada en la abundancia estacional de diversas especies (Castillo-Géniz, 1998) incluyendo el tiburón martillo *Sphyrna lewini*, el cual junto al tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* representa más del 80% de las capturas (Alejo-Plata *et al.*, 2007).

La alta proporción de neonatos y juveniles de tiburón martillo capturados con redes agalleras en aguas costeras someras sugiere que las principales áreas de crianza están sometidas a una alta presión de pesca (Castillo-Géniz, 1998). El Golfo de Tehuantepec es una región tradicionalmente pesquera y altamente productiva, y representa una zona importante de desarrollo económico y social (Tapia-García y Gutiérrez-Díaz, 1998).

A pesar de que se han establecido antecedentes sobre la actividad pesquera y los recursos pesqueros en el Golfo de Tehuantepec (Bonfil, 1994; Instituto Nacional de la Pesca. 1999-2000; Márquez-Farías *et al.*, 2006; Alejo-Plata, *et al.*, 2007), estos en general consisten en informes inéditos, planes y programas de desarrollo regional (Tapia-García y Gutiérrez-Díaz, 1998). Sin embargo en los últimos años se ha hecho hincapié en la importancia de plantear estrategias precautorias de manejo en la pesquería de tiburones (enfocándose al tiburón martillo *Sphyrna lewini* y al tiburón piloto *Carcharhinus falciformis*), ya que en esta región se presentan problemas de una aparente sobreexplotación de las especies y una sobrepesca de juveniles (más del 80% de la captura) (Soriano-Velázquez y Acal-Sánchez, 2003; Alejo-Plata *et al.*, 2007).

## **7.- Biología**

### **7.1. Reproducción**

La reproducción del tiburón martillo es vivípara, con formación de saco vitelino. Los machos maduran de los 175 a 178 cm de longitud total y las hembras alrededor de los 202 a 220 cm (Anislado-Tolentino, 2000; Bejarano-Álvarez, 2007). Las hembras producen de 10 (Carrera, 1991) a 31 embriones por preñez (Compagno, 1984). Las crías miden entre 42 y 55 cm al nacer. Se ha observado que las hembras adultas de esta especie tienen la capacidad de almacenar esperma en sus glándulas oviduciales por varios meses e incluso hasta por un año (Pratt, 1993).

## 7.2. Edad y crecimiento

En los estudios de la edad y crecimiento para el tiburón martillo (Anislado y Robinson, 2001; Piercy *et al.*, 2007), se observan diferencias entre los organismos del océano Pacífico y el océano Atlántico (Tabla 1). En el océano Pacífico el tiburón hembra más grande (335.6 cm) representa una edad de 18.6 años, mientras que en tiburones machos la talla máxima encontrada es de 244.3 cm que corresponde a 8.8 años. A diferencia, en el océano Atlántico la edad estimada que pueden alcanzar los tiburones martillo es de 30.5 años que corresponde a una longitud caudal de 234 cm en hembras, y 241 cm en machos. Se sabe que en el Atlántico la especie tiene una tendencia a incrementar su crecimiento en los meses de invierno (Piercy *et al.*, 2007), lo cual sugiere que en esta región las poblaciones de tiburones martillo se desarrollan más lento que las poblaciones encontradas en el Pacífico.

Tabla 1. Tabla comparativa de los parámetros del modelo de crecimiento Von Bertalanffy (Anislado-Tolentino, 2001; Piercy *et al.*, 2007).

	$L^{\infty}$ (cm)	$k$ (cm año <sup>-1</sup> )	$t_0$ (años)
Océano Atlántico	223.9*	0.11	-1.8
Océano Pacífico	289.95*	0.14	-1.7

\*LP = longitud patron

## 7.3. Hábitos alimenticios y dinámica trófica

En el océano Pacífico (Hawaii), los juveniles de tiburón martillo se alimentan de peces demersales (góbidos y escáridos principalmente) durante el día en arrecifes rocosos, y de camarones alfeidos en zonas someras con superficies fangosas (Clarke, 1971). La tasa de evacuación gástrica en

juveniles de esta especie es rápida; digieren el 80% del alimento consumido en un periodo de 5 a 22 horas (Bush y Holland, 2002). La ración diaria de alimento que los juveniles de esta especie necesitan consumir es de 2.12% a 3.54% del peso corporal, lo cual es relativamente alto en relación a otros elasmobranchios (Bush y Holland, 2002). Sin embargo puede sobrevivir por largos periodos con un bajo nivel de consumo (Bush y Holland, 2002; Duncan, 2006).

Los tiburones juveniles de *S. lewini*, presentan pequeñas cantidades de alimento en sus estómagos (media = 0.22 % del peso corporal), y en aquellos donde la cicatriz umbilical es evidente el estómago está casi vacío. El análisis del estado de digestión y la frecuencia de aparición de los estómagos vacíos indica que los tiburones se alimentan más durante la noche que durante el día (Bush, 2003).

El consumo de oxígeno en el tiburón martillo incrementa con la frecuencia y velocidad del nado (Lowe, 2001). La tasa metabólica estándar es de 161 mg de oxígeno por kg/hora a 21 °C, y 203 mg de oxígeno por kg/hora a 29 °C. La frecuencia y velocidad del nado puede usarse para medir la tasa metabólica, siendo de 275 mg de oxígeno por kg/hora a una velocidad de nado de 0.5 de longitud del cuerpo por segundo, a un máximo de 501 mg de oxígeno por kg/hora a 1.4 de longitud del cuerpo por segundo (Lowe, 2001).

Usando transmisores acústicos se determinó que el promedio de la frecuencia del movimiento de la aleta del tiburón es de 70 golpes por minuto y

la velocidad instantánea de nado es de 0.81 longitud del cuerpo por segundo. Estos tiburones juveniles nadan más rápido al anochecer (Lowe, 2002). En los meses de verano, los tiburones martillo nadan más rápido y tienen una tasa metabólica más alta que en los meses de invierno; lo cual está indica que presentan una alta tasa de ración diaria (Lowe, 2002).

Debido al bajo contenido calórico de su presa principal (camarón) y la alta tasa metabólica (22.9 kcal/g/día), en las costas de Hawai, el tiburón martillo necesita grandes cantidades de alimento para el mantenimiento diario (Lowe, 2002). La temperatura es un factor que influye en la disminución de las tasas metabólicas, reduce la competencia, determina el éxito en la supervivencia y el rápido crecimiento de los neonatos en invierno (Lowe, 2002).

La estimación de los requerimientos diarios de energía en juveniles de tiburón martillo en Bahía Kaneohe, Hawaii, señalan que la ración diaria de mantenimiento para esta especie es de 27.4 kcal/g/día (3.4% del peso corporal/día) (Duncan, 2006).

En México, los estudios de alimentación para esta especie se han realizado principalmente en el Golfo de California. En esta región, los tiburones martillo juveniles se alimentan principalmente de peces demersales (*Synodus evermanni* Jordan y Bollman, 1890) y epipelágicos (*Scomber japonicus* Houttuyn, 1782, *Sardinops caeruleus* Girard, 1854, *Auxis thazard* Lacepède, 1800), y cefalópodos costeros como *Dosidicus gigas* D'Orbigny, 1835), *Abraliopsis affinis* Pfeffer, 1912, *Ancistrocheirus lesueurii* Orbigny, 1842

(Aguilar-Castro, 2003) y *Loliolopsis diomedea* Hoyle, 1904 (Torres-Rojas, 2007). La diversidad de especies presas empleando el índice de Shannon-Wiener varía de 2.74 bits/individuo (Bahía de La Paz) a 3.49 bits/individuo (Mazatlán); la amplitud del espectro trófico (Bi) va de 0.16 (Bahía de la Paz) (Aguilar-Castro, 2003) a 0.14 (Mazatlán) (Torres-Rojas, 2007). Los machos y hembras juveniles del tiburón martillo presentan un traslapo trófico (0.76), lo cual indica que se encuentran alimentándose de especies similares (Aguilar-Castro, 2003).

Los análisis de isótopos estables de carbono ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C} = \delta^{13}\text{C}$ ) y nitrógeno ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N} = \delta^{15}\text{N}$ ) realizados en tejidos y contenido alimenticio de juveniles de tiburón martillo para el Golfo de California, muestran que estos tienen una posición trófica mayor en relación con los tiburones martillo adultos y que no hay una diferencia en los valores isotópicos por sexos (Aguilar-Castro, 2003).

#### **8.- Parámetros ambientales (temperatura superficial del mar y clorofila a)**

La distribución y abundancia de los tiburones ha sido un tema discutido por diversos autores. La temperatura superficial del mar afecta la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) del tiburón azul (*Prionace glauca* Linnaeus, 1758). El intervalo de temperatura donde las capturas son mayores es de 15° a 20 °C (Simpfendorfer *et al.*, 2002; Bigelow y Boggs, 2002). Asimismo en otra especie de tiburón, el tiburón arenoso (*Carcharhinus plumbeus* Nardo, 1827), los mayores registros de captura son entre los 15 y 18 °C (Merson y Pratt, 2001).

A pesar de que el propósito de las migraciones que realiza el tiburón martillo no es de termorregulación (Klimley *et al.*, 1993), en el océano Pacífico de Nicaragua, existe una clara dependencia de temperatura superficial del mar y la captura comercial del tiburón martillo (Brenes *et al.*, 2000). La mayor concentración en las capturas de tiburón martillo están asociados a frentes térmicos por la interacción de remolinos fríos y cálidos (Brenes *et al.*, 2000).

En el Golfo de California, el tiburón martillo *S. lewini* es un indicador de movimientos de masas de agua, ya que su migración y emigración se efectúa con los cambios y variaciones en la temperatura superficial del mar (Klimley y Butler, 1988). Las emigraciones se dan en respuesta al desplazamiento de agua cálida costera (30.6°C) por agua fría (26 °C) proveniente de la zona oceánica (Klimley y Butler, 1988).

Los tiburones martillo tienen rutas diseñadas para visitar sus sitios preferenciales de alimento; realizan movimientos verticales (50-450m) generalmente por debajo de la capa mixta superficial y por encima del fondo marino (Klimley *et al.*, 1993). Por ello la temperatura del agua es un factor importante en la determinación de la distribución de tiburones. Los mapeos de la temperatura superficial del mar pueden ser utilizados para identificar aguas frías de surgencias y localizar las fronteras entre aguas calientes y aguas frías donde es sabido que varias especies se congregan (Butler *et al.*, 1990).

En el pacífico oriental los peces pelágicos que son altamente migratorios y transzonales se localizan en zonas con alta productividad biológica, las cuales

están asociadas con el afloramiento de nutrientes que deriva de las corrientes. Estos afloramientos son de gran influencia en la presencia de todo tipo de especies ya que proveen de aguas enriquecidas necesarias para su desarrollo. El golfo de Tehuantepec es una zona con una alta productividad (Ayala-Duval *et al.*, 1998) y en los últimos años el tiburón martillo, que es una especie altamente migratoria, se ha catalogado como la segunda especie de tiburón de gran importancia económica en la región.

Sin embargo, dado que la detección directa de peces no siempre es factible, su detección indirecta puede ser posible a través de la observación de fenómenos de la superficie del mar asociados a la distribución de peces. Esto puede involucrar simplemente mapear los cambios en el color del océano, de azul a verde, que pueden servir como un indicador de incrementos en la abundancia de plancton, que está asociado con la presencia de clorofila, el pigmento retenedor de la luz del fitoplancton (Butler *et al.*, 1990).

Adicionalmente a la detección de recursos, la percepción remota puede ser valiosa en la caracterización del medio ambiente marino y costero, en este caso en la descripción del ambiente en la región del golfo de Tehuantepec (Butler *et al.*, 1990).

### III. JUSTIFICACIÓN

El Golfo de Tehuantepec es una zona con una alta productividad biológica debido a los fenómenos de surgencia inducidos por los “nortes” (Tapia-García y Gutiérrez-Díaz, 1998). Esta zona es importante para el crecimiento y desarrollo de distintas especies de peces, incluido el tiburón martillo *Sphyrna lewini*. En los últimos años esta especie se ha convertido en un recurso importante en la pesquería del estado de Oaxaca; sin embargo, aunque está presente casi todo el año (Bejarano-Álvarez, 2007), son pocos los estudios que abordan aspectos básicos de su biología (Castillo Olgún, 2005; Uribe Alcocer *et al.*, 2006; Alejo-Plata *et al.*, 2007; Bejarano-Álvarez, 2007), sobre todo aquellos dirigidos al conocimiento de la dinámica trófica, por lo que se desconoce de qué especies presa consume en la zona; y cómo distribuye la energía adquirida a través del alimento, ya sea para los procesos metabólicos, reproducción, y/o crecimiento a lo largo del año. Por lo que el conocimiento de la manera en que cada organismo distribuye la energía obtenida del alimento consumido en las distintas demandas vitales, es fundamental debido que esta distribución puede representar un punto de conflicto para el organismo en determinadas etapas de su vida (Pianka, 1982). Por ello la determinación del contenido de energía en los tejidos de animales constituye una herramienta esencial para conocer la estructura y el funcionamiento del flujo de energía en los ecosistemas acuáticos (Sverlij y Espinach Ros, 1986). El presente estudio aporta información nueva que permite conocer acerca de la dinámica energética de esta importante especie de tiburón y aporta conocimientos de la biología básica del tiburón martillo *Sphyrna lewini*.

#### **IV. OBJETIVO GENERAL**

Analizar la dinámica energética del tiburón martillo *Sphyrna lewini* en el Golfo de Tehuantepec, México.

#### **V. OBJETIVOS PARTICULARES**

- Describir el espectro trófico del tiburón martillo *Sphyrna lewini*, y sus variaciones anuales por talla y por sexo.
- Estimar el contenido energético de las presas principales, así como de los tejidos muscular, gonádico y hepático del tiburón martillo *S. lewini*, mediante análisis calorimétricos.
- Relacionar los cambios estacionales de la temperatura superficial del mar y la concentración superficial de clorofila *a*, con los resultados del contenido calórico de los diferentes órganos y presas analizados.
- Comparar la información de los parámetros ambientales (temperatura superficial del mar, clorofila *a*, e intensidad del viento) con la captura/día de pesca (CPUE).

## VI. ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de Tehuantepec se localiza en la porción tropical-oriental del Pacífico Mexicano, delimitada por las coordenadas 14°22'-16°12' latitud norte y 92°17'-96°30' longitud oeste (Ayala-Duval *et al.*, 1998), entre los estados de Oaxaca y Chiapas, y al sur del Istmo de Tehuantepec (Fig. 6). Tiene una extensión aproximada de 350 km en dirección este y oeste, y máxima de 80 en sentido norte a sur. Se considera que sus puntos extremos son: Puerto Ángel en Oaxaca (oeste) y la Barra de Santiago (este) (Ayala-Duval *et al.*, 1998).

El golfo se encuentra dentro de la zona tropical, siendo el clima por lo general húmedo, con abundancia de lluvias en el mes de junio y a finales de octubre (Castillo-Géniz *et al.*, 2001). La principal característica del clima en la región es la variabilidad en la intensidad del viento a lo largo del año (Trasviña y Barton, 1997), que da como resultado variaciones (entre 22 y 30° C) en la distribución promedio de la temperatura superficial del mar (Castillo-Géniz *et al.*, 2001).

Además de la temperatura del mar, las concentraciones de clorofila *a* en el Golfo de Tehuantepec indican un aporte estacional de aguas productivas en las regiones central y oriental del golfo ( $> 0.3 \text{ mg m}^{-3}$ ), mientras que la costa occidental es consistentemente oligotrófica, casi siempre  $< 0.2 \text{ mg m}^{-3}$  (Lluch-Cota *et al.*, 1995). El promedio de la producción primaria es de  $3.07 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$  y varía de 0.15 a  $17.1 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ . Las máximas concentraciones de clorofila *a* y los valores de producción primaria se incrementan de norte a sur, con un rango de  $0.15 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  a  $1.15 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Los valores máximos de

clorofila *a* y producción primaria se registran al mismo nivel de irradiancia, de 20 m de profundidad (Lara-Lara y Bazán-Guzmán, 2005). Lo cual da como resultado que el Golfo de Tehuantepec sea una zona altamente productiva y tradicionalmente pesquera, destacándose las pesquerías de atún, sardina, anchoveta, camarón, y en los últimos años el tiburón; todas están sustentadas por el fitoplancton como inicio de la cadena trófica (Ayala-Duval *et al.*, 1998).

Otra característica importante en el Golfo de Tehuantepec son las diferencias en las profundidades del mar. En la parte interna del Golfo de Tehuantepec, las profundidades son menores de 200 m, la línea batimétrica que corresponde a esa profundidad pasa frente a Puerto Ángel a una distancia de 12 millas de la costa y atraviesa el Golfo con ondulaciones, hasta llegar a unas 47 millas mar adentro, al sureste de la desembocadura del Río Suchiate (Castillo-Géniz *et al.*, 2001) (Fig. 7-a). Mientras que en la región externa del golfo, las profundidades van de los 200 a 5000 m, por lo que puede esquematizarse como un “escalón” en una costa de orientación este-oeste (Fig. 7-b) (Trasviña y Barton, 1997). La plataforma continental tiene un ancho promedio de 100 km en la mitad oriental del golfo y desaparece al alcanzar el escalón; tanto la plataforma como la costa occidental del golfo bordean la trinchera Mesoamericana, de más de 5000 m de profundidad, lo que la hace ser la más profunda del Pacífico Oriental Tropical (Trasviña y Barton, 1997).

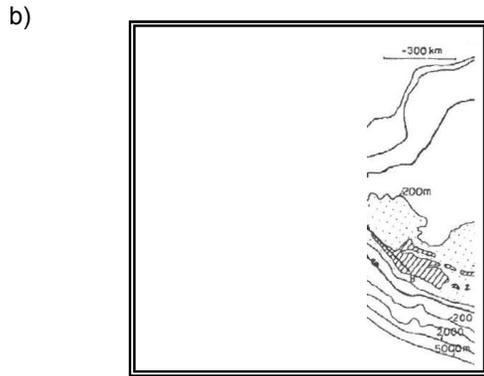
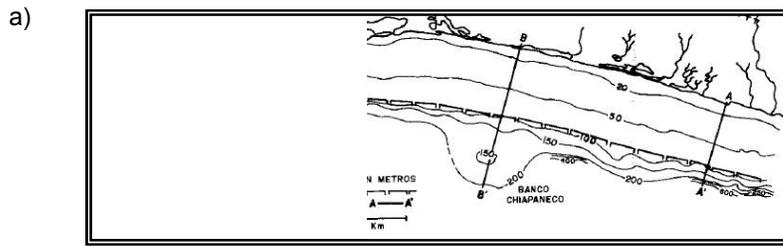


Figura 7. Batimetría (a) parte interna del Golfo de Tehuantepec (Morales de la Garza y Carranza Edwards, 1995); (b) parte externa del Golfo de Tehuantepec (Trasviña y Barton, 1997).

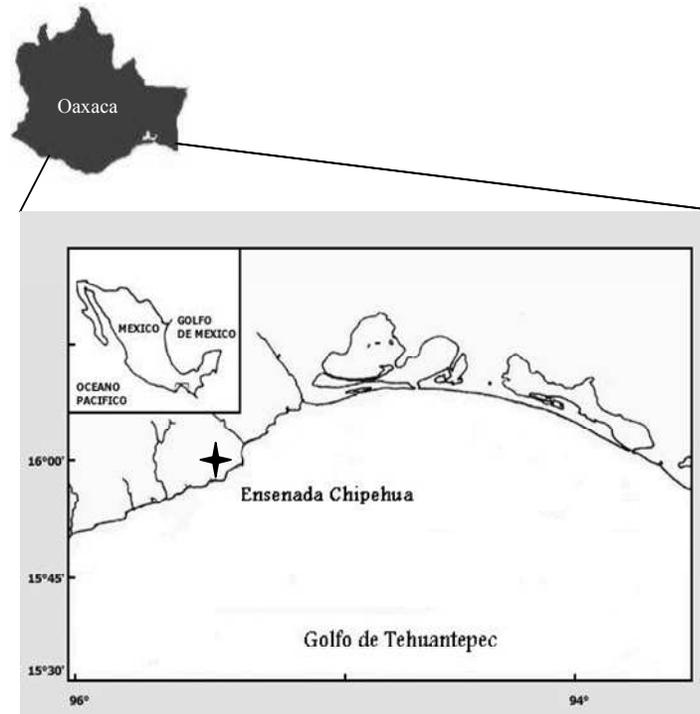


Figura 6. Área de estudio. Campo pesquero Ensenada Chipehua en el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca (Tomado de Ramos Cruz y Ramos Santiago, 2006).

Las corrientes en el Golfo de Tehuantepec son muy irregulares y fluctúan con los cambios de dirección de los vientos (Castillo-Géniz *et al.*, 2001), presentando cuatro tipos de patrones a lo largo del año. El primer patrón es en la temporada de nortes (de octubre a enero), cuando se observan dos corrientes paralelas a la costa, en sentido contrario, las cuales convergen siguiendo una trayectoria hacia mar adentro. En el segundo patrón que se da de febrero a abril (finales de la época de nortes), las corrientes convergen formando un giro anticiclónico en el oeste y un ciclónico en la parte oriental del golfo (Monreal-Gómez y Salas de León, 1998). El tercer patrón aparece entre junio y agosto (temporada de tormentas tropicales), cuando la circulación oceánica es sencilla debido a que la corriente va hacia el noroeste. Una vez que el periodo de lluvias ha cesado (mayo a septiembre) la corriente presenta una línea sinuosa con flujo de este a oeste (Monreal-Gómez y Salas de León, 1998). En diciembre el cuarto patrón de corrientes es similar a la temporada de “nortes”, con una circulación costera hacia el este y otra hacia el oeste, al divergir en la parte oeste del golfo cambia su trayectoria hacia mar adentro a 200 km de la costa y posteriormente cambia de dirección hacia el oeste (Monreal-Gómez y Salas de León, 1998).

Las masas de agua dentro del Golfo de Tehuantepec son: el agua tropical superficial, localizada en la capa superficial con una temperatura mayor a los 25 °C y salinidades menores a 34.00 ups, la cual junto con el agua subtropical superficial (temperatura de 15- 28 °C y salinidad de 36.00 ups) se introduce en el golfo, en verano y otoño, a través de la Corriente de Costa Rica (Monreal-Gómez y Salas de León, 1998).

Durante los vientos “tehuanos” el oleaje es generado localmente e influenciado directamente por la fuerza de estos vientos (Castillo-Géniz *et al.*, 2001). La marea que se registra en la costa del golfo es mixta, predominantemente semidiurna (dos pleamares y dos bajamares por día lunar). El movimiento inducido por la marea es prácticamente homogéneo vertical (Castillo-Géniz *et al.*, 2001).

## VII. METODOLOGÍA

### a) Trabajo en Campo

Los muestreos para la descripción de la dieta del tiburón martillo se realizaron de septiembre de 2004 hasta septiembre de 2006 de manera mensual en el campo pesquero Ensenada Chipehua, localizado en el municipio de Santo Domingo Tehuantepec dentro del Golfo de Tehuantepec, Oaxaca (Fig. 6). La captura del tiburón se realizó con palangres o cimbras (arte de pesca específico para la captura de tiburón) y redes de enmalle (como captura incidental).

Se registró el sexo y la longitud total del organismo (cm). El criterio para el análisis de tallas, fue tomado a partir de las clasificaciones de Anislado-Tolentino (2000), Alejo-Plata *et al.*, (2007) y Bejarano-Álvarez (2007), y combinando las medidas tomadas por los tres autores. Los tiburones con tallas de 49 a 125 cm de longitud total (LT) se clasificaron como neonatos y juveniles, aquellos con tallas de 126-202 cm LT fueron tiburones en desarrollo, y los mayores a 203 cm LT, tiburones adultos que ya han alcanzado la madurez sexual y se han reproducido.

Se realizaron recolectas de estómagos de tiburón martillo, haciendo un corte en la parte ventral del tiburón y extrayendo el estómago, a fin de realizar el análisis de la dieta se calculó la proporción de llenado del estómago tomando valores de 0 a 4 con base a Stilwell y Kohler (1982), donde 0 = estómagos vacíos, 1 = 25% de llenado, 2 = 50% de llenado, 3 = 75% de llenado y 4 = 100% de llenado.

Para realizar el análisis calorimétrico del tiburón martillo, se tomaron muestras mensuales de las presas registradas en su dieta, de tejido muscular, hepático y gonádico, durante los meses de enero a agosto (correspondiente a la temporada de pesca de tiburón) del 2006.

Las gónadas (testículos en machos y ovarios en hembras) fueron removidas registrando el sexo y extrayendo una muestra de 5 g, asimismo se extrajo el hígado y se cortó aproximadamente 5 g de tejido, así como 5 g de tejido muscular de la parte dorsal del tiburón. De las especies presa completas contenidas en los estómagos (sin presentar un avanzado proceso de digestión), se obtuvo una muestra de 5 g de cada una con el fin de evaluar los valores calóricos de las mismas. Posteriormente el resto del contenido estomacal fue fijado en formaldehído al 10% para su posterior identificación taxonómica. Dado que no se obtuvo muestra fresca del calamar *Mastigoteuthis dentata* (Hoyle, 1904), se obtuvo 5 g de una especie equivalente perteneciente al hábitat mesopelágico, en este caso un calamar de la familia Lolliginidae, *Lolliguncula* spp., facilitado por los pescadores de Ensenada Chipehua.

Las muestras frescas para calorimetría (gónadas, músculo, hígado y presas) fueron congeladas para su traslado y procesamiento al Laboratorio de Ecología de Peces del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) en la Paz, B. C. S., México.

### *b) Trabajo de laboratorio*

Del contenido estomacal se separaron las diferentes presas por grupo taxonómico y se determinó su estado de digestión, considerando la clasificación de Cailliet *et al.* (1989): estado 1 = presas completas con escamas; estado 2 = presa sin escamas e incompleta; estado 3 = partes aisladas del cuerpo del pez y vértebras; y estado 4 = otolitos de peces, picos de calamar y materia orgánica no identificada.

Para la identificación taxonómica de los peces completos (estado de digestión 1) se utilizaron claves especializadas de Clothier (1950), Monod (1968), Miller y Jorgensen (1973), Allen y Robertson (1994), Fischer *et al.* (1995). Para identificar peces en estado de digestión 3 y 4, se utilizó la colección de esqueletos de peces del Laboratorio de Ecología de Peces del CICIMAR. En el caso de invertebrados se utilizaron las claves de Brusca (1980), Fischer *et al.* (1995) así como Garth y Stephenson (1966). Para cefalópodos, se emplearon las claves de Iverson y Pinkas (1971), Clarke (1962, 1986) y Wolff (1982, 1984).

### *c) Análisis de datos*

## **1. Análisis de hábitos alimenticios**

### 1.1. Métodos cuantitativos

La importancia relativa de cada presa en el contenido gástrico de los tiburones fue determinada utilizando los métodos cuantitativos básicos (Cailliet *et al.*, 1986), expresados en porcentajes:

- Porcentaje numérico (%N), es la proporción del número de una presa específica en relación al número total de presas dentro de todos los estómagos analizados.
- Porcentaje gravimétrico (%P) en gramos, es la proporción en peso de una presa en relación al peso de todos los contenidos estomacales.
- Porcentaje de frecuencia de aparición (%FA), es la proporción de los estómagos que contienen una presa específica.

Cada uno de estos métodos aporta información sobre el comportamiento alimenticio de un depredador; sin embargo, tienen sus limitaciones como sobrestimar las presas pequeñas y numerosas pero que energéticamente no cubren las necesidades del depredador, o bien las presas grandes que raramente son encontradas en la dieta (Liao *et al.*, 2001).

Con la finalidad de corroborar la importancia de cada componente alimenticio en la dieta, se empleó el Índice de importancia relativa (IIR), propuesto por Pinkas *et al.* (1971):

$$\%IIR = [(\%P + \%N) * \%FA] * 100$$

Donde IIR = índice de importancia relativa, P = es el porcentaje en peso de la presa, N = el porcentaje en número de la presa, y FA = es el porcentaje de frecuencia de aparición de la presa.

La utilización de un índice combinado como el %IIR, ayudó a obtener un punto de vista más balanceado y comprensivo sobre los hábitos alimenticios del tiburón martillo, ya que se integró la información derivada de los métodos tradicionales como el gravimétrico, numérico y frecuencia de aparición, para generar información sobre la contribución de cada tipo de presa en la dieta del depredador (Liao *et al.*, 2001).

## 1.2. Análisis estadísticos

A partir del número de especies presa que integraron la dieta del tiburón martillo, se calculó el índice de similitud de Bray-Curtis (1957) a individuos de los grupos de edad relativa (adultos y juveniles), así como por sexos y años de estudio. El traslape trófico por edad relativa, sexo y años se determinó con un análisis de agrupamiento. Este análisis fue para obtener grupos en los cuales

la dieta fuera similar entre sí (mínima varianza) y grupos con dieta más heterogénea entre sí (máxima varianza).

Para evaluar la similitud de componentes tróficos que consume el tiburón martillo se empleó el método de permutación aleatoria *ANOSIM* usando el programa *PRIMER 6* con base en el sexo del tiburón, edad relativa y años de estudio. En esta rutina la decisión se toma a partir del intervalo de similitud global ( $R$ ), el cual es una medida comparativa del grado de separación entre grupos; cuando  $R$  se aproxima a 0 hay poca similitud entre los grupos, y cuando es cercano a 1 es porque existe una gran similitud (Aguirre-Sánchez, 2005).

Se utilizó el análisis de similitud porcentual (*SIMPER*) para establecer la contribución de los componentes tróficos al promedio de disimilitud de Bray-Curtis, dentro y entre los grupos de edad relativa, sexo y años. En las comparaciones entre grupos, la detección de los componentes tróficos que discriminan mejor las diferencias en la dieta se realizó por medio de la razón:

$$\bar{\delta}_i / SD(\delta_i)$$

Donde:  $\bar{\delta}_i$  es el promedio de contribución de cada *i-ésimo* componente trófico a la disimilitud total, y  $SD(\bar{\delta}_i)$  es la desviación estándar de los valores  $d_{jk}(i)$  (Clarke y Warwick, 1994). Para el cálculo también se usó el programa *PRIMER 6.0*.

Para medir la proporción de componentes tróficos en la dieta del tiburón martillo por años, sexo y tallas, se realizó una curva de k-dominancia de abundancia acumulativa de las especies presa. En esta curva las presas son ordenadas por su porcentaje de frecuencia de aparición o abundancia, y se grafica esta cifra contra el porcentaje acumulado del total de las presas. Los grupos de tiburones con baja dominancia de especies presa (mayor diversidad), tenderán a tener curvas más suaves (con pendiente poco pronunciada) que aquellos con alta dominancia de pocas especies presa (menor diversidad) (Lamshead *et al.*, 1983).

### 1.3. Amplitud trófica

#### 1.3.1. Índice estandarizado de Levins

El índice de Levins (1968) propone que la amplitud de nicho se puede estimar midiendo la uniformidad en la distribución del alimento entre el número de individuos; sin embargo este índice maneja un intervalo de 1 a  $n$ , por lo que generalmente se utiliza un índice estandarizado (Krebs, 1989).

El índice estandarizado de Levins fue propuesto por Hurlbert (1978), quien argumentó que en muchos casos algunos recursos son muy abundantes y comunes, mientras que otros pueden considerarse raros (condición que el índice de Levins no considera). Al manejar un intervalo de escala de 0 a 1 (considerándose como especialista cuando el valor es cercano a cero y generalista cuando el valor es cercano a 1), lo hace dimensional y comparable con otros estudios donde se aplique este índice (Krebs, 1989).

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

Donde,  $B_i$  = es el índice de Levins para el depredador  $i$ ;  $P_{ij}$  = es la proporción de la dieta del depredador  $i$  dada por la presa  $j$ , y  $n$  = es el número de categorías de presas. Se consideró que valores menores a 0.6 se refieren a que la proporción de categorías alimenticias contenidas en el tracto digestivo está sesgada hacia el consumo preferencial de ciertas categorías alimenticias (especialista); y cuando es mayor a 0.6, la proporción de categorías alimenticias tiende a ser uniforme (depredador generalista) (Krebs, 1989; Lapropoulou y Eleftheriou, 1997). Para calcular este índice se empleó el número de presas contenidas en la dieta (método numérico).

## **2. Análisis calorimétricos**

### **2.2. Determinación de humedad**

La determinación del contenido de humedad de los tejidos animales es un método que indica la cantidad de agua involucrada en la composición de los mismos (Badui, 1986). Generalmente se expresa a manera de porcentaje y las cifras varían entre 60-95% en los diferentes tejidos animales (Badui, 1986).

Este método se realizó por la determinación de la pérdida de masa que presenta un tejido cuando se somete a una combinación tiempo – temperatura adecuada (50-60° C hasta peso constante). El residuo que se obtiene se conoce como sólidos totales o materia seca (Belitz y Grosch, 1985).

En este caso, se determinó el contenido de humedad de los tejidos gonádico, hepático, muscular y de las presas del tiburón martillo mediante el método 930.15 (AOAC, 1990; Anexo II).

### 2.3. Determinación de cenizas

Las cenizas totales representan la materia inorgánica que forman parte constituyente de los tejidos vegetales y animales (sales minerales). Las cenizas permanecen como residuo luego de la calcinación de la materia orgánica (Lehninger, 1985). La calcinación debe efectuarse a una temperatura suficientemente alta como para que la materia orgánica se destruya totalmente, pero no debe ser excesiva para evitar que los compuestos inorgánicos se alteren (fusión, descomposición, volatilización o cambio de estructura) (Lehninger, 1985). El contenido de cenizas de los tejidos (muscular, gonádico, hepático y el de las presas) del tiburón martillo se determinó mediante el método 942.05 (AOAC, 1990).

### 2.1. Determinación de energía

El contenido calórico de las muestras del contenido estomacal, tejido muscular, tejido hepático y gonádico fue estimado mediante el uso de un calorímetro semimicro Parr (energía equivalente 440.566 cal/g). Los valores de biomasa expresados en unidades de energía fueron usados para proveer una estimación relativa del consumo y almacenamiento de energía del tiburón martillo durante enero a agosto del 2006. Las muestras analizadas requirieron de un tratamiento previo el cual consistió en lo siguiente:

- De las presas, gónada, músculo e hígado del tiburón se tomó la cantidad de 5 g los cuales fueron congelados para posteriormente extraer la humedad por tres días en una cámara liofilizadora LABCONCO (4.5 lt).
- Posteriormente las muestras se colocaron en una estufa a 65 °C por 24 h, hasta que se obtuvo un peso constante (Peso seco).
- Cuando estuvieron exentas de humedad se molieron y se colocaron nuevamente en la estufa a 65 °C durante 24 h para pasarlas después a un desecador.
- Se tomaron submuestras de aproximadamente 0.025 a 0.2 g (3 replicas de cada una) y se compactaron en forma de pastilla de 25 mm de diámetro, para posteriormente pasarlas a una estufa por otras 24h a 65 °C, colocándolas en el desecador hasta el momento de su pesado y determinación calorimétrica.

Los valores de energía se expresaron como kilocalorías por gramo (kcal/g) de peso seco (valor dado por el calorímetro semimicro), peso fresco y peso seco libre de cenizas (Phillipson, 1964; Parr Instrument, 1980).

El valor calórico del material fresco (VCMF) se calculó multiplicando el valor calórico del material seco (VCMS), por la fracción de peso seco de la muestra fresca (Phillipson, 1964; Parr Instrument, 1980):

$$VCMF = (VCMS * (1 - H))$$

Donde VCMS = valor calórico del material seco y H = humedad.

El valor calórico del material seco libre de cenizas (VCLC) se obtuvo dividiendo el valor calórico del material seco (VCMS) entre la fracción que representa el material seco libre de cenizas (CCMS) (Phillipson, 1964; Parr Instrument, 1980):

$$VCLC = \frac{VCMS}{1-CCMS}$$

Se graficó el promedio mensual del contenido calórico de los tejidos gonádico, hepático y muscular para evaluar las variaciones graduales de la energía y relacionarlo con la biología de la especie.

El almacenamiento de energía en el tejido muscular (AEM) fue estimado multiplicando el peso sin vísceras de 71 tiburones, por su valor de energía (kcal/g de peso fresco) correspondiente (Abitia-Cárdenas *et al.*, 2002). Para el almacenamiento calórico en el tejido gonádico (AEG), los valores energéticos fueron multiplicados por el peso de cada gónada (Abitia-Cárdenas *et al.*, 2002), y el mismo procedimiento se aplicó para obtener el almacenamiento en el tejido hepático. Se realizó una relación lineal (Zar, 1996) empleando la longitud total (LT) del tiburón martillo, para estimar el peso total (PT) en gramos de cada tiburón, de gónadas (PG) e hígado (PH).

El almacenamiento de energía total (AET) se estimó de acuerdo con Mackinnon (1972) a partir de la suma de los valores de energía estimados mensualmente para el tejido muscular, gonádico y hepático:

$$AET = AEM + AEH + AEG$$

Donde AET, es el almacenamiento de energía total; AEM es el almacenamiento de energía en tejido muscular; AEH es el almacenamiento de energía del tejido hepático, y AEG es el almacenamiento de energía en el tejido gonadal. Se realizó una prueba de medias (*t-student*) para determinar diferencias en el almacenamiento energético total del tiburón martillo.

Para determinar las diferencias en los valores calóricos estimados a partir del contenido estomacal, el tejido muscular, hepático y gonádico por año y meses analizados, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y un análisis Kruskal-Wallis (ANOVA) por intervalos en los casos de ausencia de homocedasticidad. Este análisis se realizó empleando el programa STATISTICA (versión 7); siendo el factor el tiempo (meses) y la variable el contenido energético de los tejidos (información derivada del índice de importancia relativa). .

Partiendo del supuesto de que algunas presas son más importantes que otras para el depredador, se debe conocer su importancia en la dieta (Liao *et al.*, 2001), y una manera de hacerlo es determinando el aporte energético de las mismas, mediante la cuantificación del espectro trófico energético (ETE). El cual se obtiene multiplicando el promedio del valor calórico de cada una de las especies presa (VCMF) por el total de la biomasa aportada por esa misma presa. El cálculo se hizo de manera mensual, tomando información la biomasa de peso fresco por presa obtenida a partir del método gravimétrico (Abitia-Cárdenas *et al.*, 2002), para realizar posteriormente la conversión a kcal

(kilocalorías) de peso fresco para que los resultados fueran comparables con otros estudios:

$$ETE = VCMF * biomasa (g)$$

El método gravimétrico (P) refleja el valor nutricional de las presas como componentes tróficos (Macdonald y Green, 1983; Liao *et al.*, 2001). Por esta razón, para determinar el espectro trófico energético del tiburón martillo, este fue el mejor método, ya que se obtuvo información sobre la biomasa ingerida por el tiburón martillo, lo cual junto con el valor energético de las mismas funciona como una medida de la importancia (Ellison, 1978).

### **3. Imágenes de satélite y energética del tiburón martillo**

Para relacionar el almacenamiento energético total del tiburón martillo *Sphyrna lewini* con los parámetros ambientales, se utilizaron imágenes diurnas de temperatura superficial del mar y concentraciones de clorofila *a* (enero a agosto del año 2006) del nivel 3 del sensor *MODIS* (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) del satélite *AQUA* de *EOS/NASA* con una resolución de 4.6 km. Estas imágenes están disponibles en Ocean Color Webpage (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>).

El criterio de selección de las imágenes fue la ausencia de nubes en la zona y clara visibilidad del Golfo de Tehuantepec. Las imágenes bidimensionales se distribuyen en una proyección global cilíndrica equidistante en formato HDF. La resolución preestablecida es de 4.6 km, cada coordenada es aproximadamente de 0.08789 grados y la imagen global tiene de 4096x2048 píxeles. Para delimitar el área adyacente a la zona de pesca de tiburón dentro

del Golfo de Tehuantepec (GPS:15°57'86" latitud norte; 95°25'12" longitud oeste) y obtener un promedio general, las imágenes fueron georeferenciadas y convertidas a formato ArcView con el programa Multispec (versión 3.1). Cada archivo contiene una imagen de un parámetro geofísico:

- Valores en byte o números enteros de 16-bits (HDF) proyección global cilíndrica equidistante estándar
- Archivo con atributos globales
- Paleta de color

La conversión de los datos de valores estándar a promedios de temperatura superficial del mar (TSM) y clorofila a (CLOROFILA) se realizó en ESRI ArcMap 8.3 mediante las formulas obtenidas en la página The SeaWiFS Data Analysis System (SeaDAS) (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/seadas/doc/smigen/smigen.html>). Se usaron los atributos globales de escala, ecuación de la escala, base (log10), b1 (valores estándar en números enteros de 16-bits), pendiente y ordenada al origen:

a) para las imágenes de temperatura superficial del mar (TSM) se empleó la fórmula:

- Escala lineal:  $(pendiente * l3m\_data) + ordenada\ al\ origen = (7.17185e-4 * b1) + (-2.0)$

Donde: l3m\_data, es el dato de temperatura superficial de mar.

b) para las imágenes de clorofila a se utilizó la fórmula:

- Escala logarítmica:  $\text{base}^{((\text{pendiente} * l3m\_data) + \text{ordenada al origen})} = \text{alog}_{10}((5.81378e-5 * b1) + (-2.0))$

Donde:  $l3m\_data$ , es el dato de clorofila  $a$ .

No fue necesario realizar una corrección radiométrica previa de las imágenes satelitales, ya que las imágenes MODIS contienen información de alta sensibilidad radiométrica, están calibradas, rectificadas por parte del sitio web Ocean Color (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>), y en formato Generic Binary, little-endian.

Para la relacionar la dinámica energética (kcal/g) del tiburón martillo con los parámetros ambientales de temperatura superficial del mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) y clorofila  $a$  ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), se realizó una regresión múltiple empleando el programa *STATISTICA* (versión 7).

#### **4. Relación de CPUE (captura/días de pesca) con parámetros ambientales**

Para evaluar la relación entre los parámetros ambientales y la captura de tiburones martillo durante 2004, 2005 y 2006, se graficaron los promedios mensuales de la intensidad del viento (km/h) (Estación Meteorológica de Salina Cruz, Oax.) (<http://www.estacionsal.com.mx/index.htm>), concentración de clorofila *a* ( $\text{mg m}^{-3}$ ) y temperatura superficial del mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) contra la captura de tiburón martillo (CPUE), considerando el esfuerzo de captura como captura/días de pesca (Bayliff, 2002) para cada uno de los tres años de estudio. Asimismo, para evaluar la relación entre los parámetros ambientales y la CPUE, se realizó una regresión múltiple empleando el programa *STATISTICA* (versión 7).

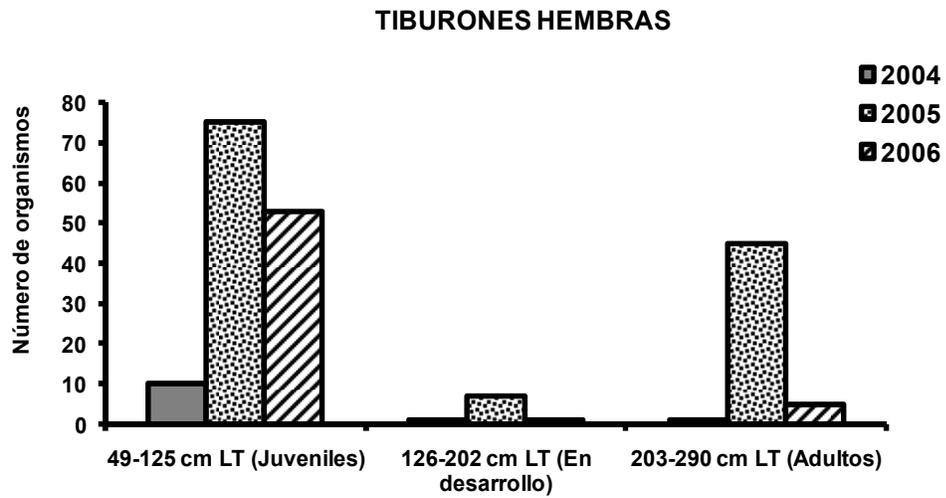
## VIII. RESULTADOS

### ▪ **Análisis de tallas del tiburón martillo**

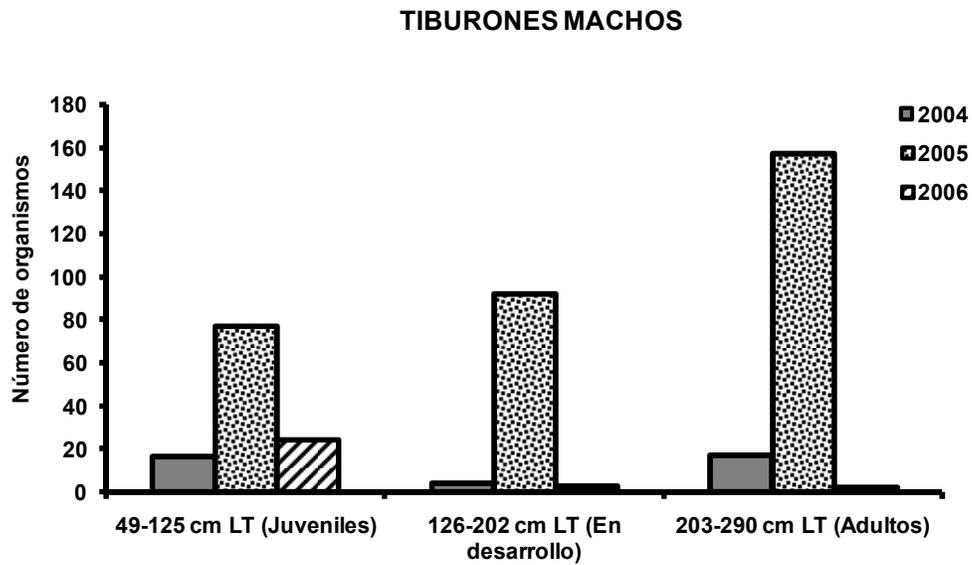
En este estudio se registró un total de 574 tiburones martillo *Sphyrna lewini*, de ambos sexos y en todos los estadios de desarrollo, durante los años 2004, 2005 y 2006. De los organismos registrados, 34% fueron hembras, de las cuales 25% correspondió a hembras juveniles y en desarrollo (49 a 202 cm de longitud total (LT)). Mientras que solo un 9% fueron adultas (mayor a 202 cm de LT) (Fig. 8-a). El 66% restante correspondió a tiburones machos, 36% a machos juveniles y en desarrollo (49 a 202 cm de LT), y 30% a machos adultos (mayor a 202 cm de LT) (Fig. 8-b).

Estacionalmente el mayor registro de tiburones juveniles y en desarrollo se presentó de mayo hasta julio, mientras que los adultos se encontraron en mayor número solo en junio y julio (Fig. 9).

a)



•  
• b)



•  
• Figura 8. Porcentaje de organismos utilizados para caracterizar la dieta del tiburón martillo *Sphyrna lewini* en el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca. (a) tiburones martillo hembras, (b) tiburones martillo machos.

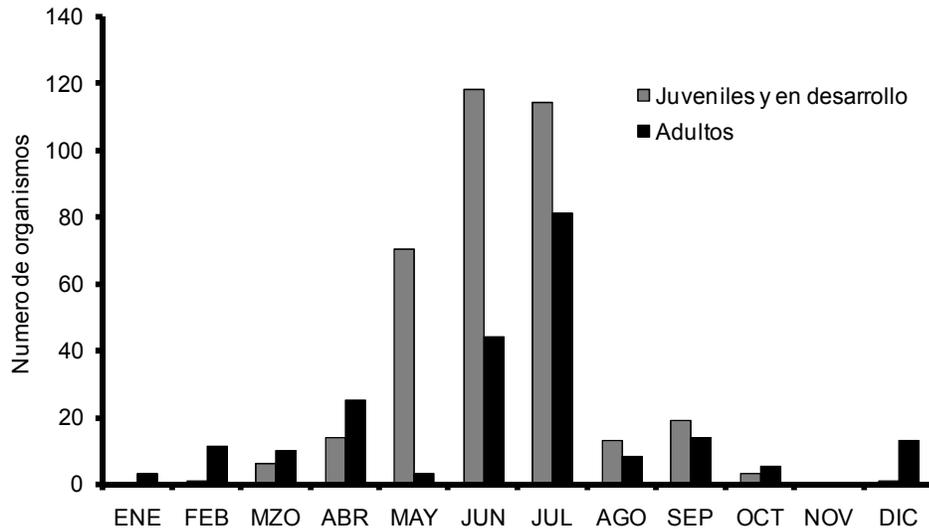


Figura 9. Estacionalidad de los registros de juveniles y en desarrollo, así como adultos de tiburón martillo *Sphyrna lewini* en el Golfo de Tehuantepec, Oax.

▪ **Porcentaje de llenado de estómagos y estado de digestión de las presas**

De los estómagos extraídos de los tiburones martillo, el 76% contenían alimento mientras que el 24% restante estaban vacíos. El 63% de los estómagos con contenido estomacal registraron un porcentaje de llenado del 25% de llenado y el 37% presentaron de un 50% a 100%. De las presas identificadas, el 17% presentó un estado de digestión bajo (1 y 2), mientras que el 83% presentó un estado de digestión de medio a avanzado (3 y 4).

- ***Espectro trófico del tiburón martillo *Sphyrna lewini****

### **3.1. Métodos cuantitativos**

#### *3.1.1. Descripción anual*

La tabla 2 muestra las categorías alimenticias (presas) de la dieta del tiburón martillo para el año 2004. A partir del trabajo taxonómico se identificaron 11 especies presa, de las cuales cuatro fueron cefalópodos y siete peces.

Numéricamente se registró un total de 88 organismos presa en la dieta, el 40% correspondió a peces (35 organismos) y el 60% a cefalópodos (53 organismos). La especie presa más importante fue el calamar *Mastigoteuthis dentata* (54.5%), seguido por los peces escómbridos, la caballa *Auxis* spp. (15.9%) y el barrilete negro *Euthynnus lineatus* (14.8%) (Fig.10).

Gravimétricamente las presas registraron una biomasa total de 4,236.48 g; los peces representaron el 97% (4114.5 g); mientras que los cefalópodos el 0.14% (6.32 g). Los restos de peces (estado de digestión 3) aportaron el 3% de la biomasa (116 g; Tabla 2), y los peces *Auxis* spp. y *Euthynnus lineatus* fueron las especies presa más importantes (Fig. 10).

La frecuencia de aparición indicó que los peces fueron más comunes que los cefalópodos, siendo los restos de peces registrados en 12 estómagos (Tabla 2). Las especies presa más frecuentes en la dieta fueron *Auxis* spp. con 24% (12 estómagos), *Mastigoteuthis dentata* con 22% (11 estómagos) y *Euthynnus lineatus* con 14% (7 estómagos) (Fig.10).

Tabla 2. Categorías alimenticias de la dieta del tiburón martillo *Sphyrna lewini* para el año 2004.

Especies Presas	FA	%FA	N	%N	P(g)	%P(g)	IIR	%IIR
<b>Cephalopoda</b>								
<i>Mastigoteuthis dentata</i>	11	22.45	48	54.55	6.32	0.15	1227.84	33.48
<i>Sthenoteuthis oualaniensis</i>	1	2.04	2	2.27	s/d	s/d	4.64	0.13
<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	1	2.04	1	1.14	s/d	s/d	2.32	0.06
<i>Dosidicus gigas</i>	2	4.08	2	2.27	s/d	s/d	9.28	0.25
<b>Osteichthyes</b>								
<i>Auxis</i> spp.	12	24.49	14	15.91	1538.02	36.30	1278.69	34.87
<i>Gymnothorax</i> spp.	1	2.04	1	1.14	7.52	0.18	2.68	0.07
<i>Exocoetus</i> spp.	1	2.04	1	1.14	3.04	0.07	2.47	0.07
<i>Canthidermis maculatus</i>	1	2.04	1	1.14	24.80	0.59	3.51	0.10
<i>Chloroscombrus orqueta</i>	1	2.04	2	2.27	1.94	0.05	4.73	0.13
<i>Coryphaena</i> spp.	3	6.12	3	3.41	123.40	2.91	38.71	1.06
<i>Euthynnus lineatus</i>	7	14.29	13	14.77	2415.83	57.02	1025.67	27.97
Restos de peces	12	24.49		115.61	2.72	66.83	1.82	
<b>Total</b>		<b>108</b>	<b>88.00</b>	<b>100</b>	<b>4236.48</b>	<b>100</b>	<b>3667.37</b>	<b>100</b>
<b>Total Estómagos</b>	<b>49</b>							

Donde FA (método de frecuencia de aparición), N (método numérico), P (método gravimétrico) e IIR (Índice de importancia relativa); sin dato (s/d).

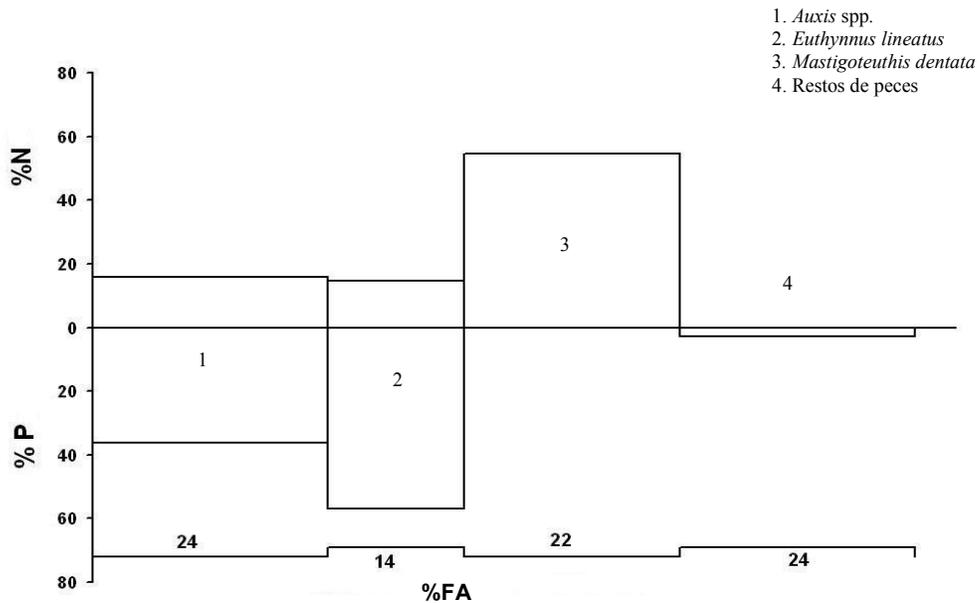


Figura 10. Espectro trófico combinado (tres métodos de análisis) del tiburón martillo *Sphyrna lewini* durante el año 2004, presentado como porcentajes del número (N), peso (P) y frecuencia de aparición (FA).

Las categorías alimenticias de los estómagos analizados en el año 2005 se muestran en la tabla 3. Se identificaron 32 presas, de las cuales 2 fueron crustáceos, 10 cefalópodos y 20 peces.

Numéricamente, se registró un total de 1543 organismos presa de las cuales el 48% correspondió a cefalópodos (736 organismos), el 43% a peces (663 organismos) y el 3% a crustáceos (40 organismos) (Tabla 3). Las especies más importantes fueron *Mastigoteuthis dentata* con 33% (556 organismos) y *Chloroscombrus orqueta* con 17% (288 organismos) (Fig.11).

Con respecto a la biomasa se registró un total de 29,712 g. El 97% correspondió a peces (28, 820.64 g) y el 3% a cefalópodos (891.36 g). La especie más importante fue *Auxis* spp. con 23% (6,867 g) (Fig.11). Se debe señalar que los restos de peces contribuyeron con 11 % de biomasa en la dieta (3,320 g) (Tabla 3).

Los peces fueron el componente más frecuente en la dieta con un 37% (284 estómagos) seguido por los cefalópodos, 28% (212 estómagos) y los crustáceos, 3% (26 estómagos). Los restos de peces fueron registrados en un 31% de los estómagos (Tabla 3). Las especies presa más frecuentes en los estómagos fueron *Mastigoteuthis dentata* (36.6%) y *Auxis* spp. (16%) (Fig.11).

Tabla 3. Categorías alimenticias de la dieta del tiburón martillo *Sphyrna lewini* para el año 2005.

<i>Especies Presa</i>	<i>FA</i>	<i>%FA</i>	<i>N</i>	<i>%N</i>	<i>P(g)</i>	<i>%P(g)</i>	<i>IIR</i>	<i>%IIR</i>
<b>Cephalopoda</b>								
<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	13	2.97	39	2.34	s/d	s/d	6.96	0.23
<i>Argonauta noury</i>	4	0.92	74	4.44	87.37	0.29	4.33	0.14
<i>Dosidicus gigas</i>	15	3.43	40	2.40	4.20	0.01	8.28	0.27
<i>Gonatus</i> spp.	1	0.23	1	0.06	s/d	s/d	0.01	0.00
<i>Lolliguncula diomedea</i>	3	0.69	3	0.18	3.60	0.01	0.13	0.00
<i>Mastigoteuthis dentata</i>	160	36.61	556	33.35	770.45	2.59	1316.11	42.75
<i>Octopodoteuthis sicula</i>	3	0.69	3	0.18	2.00	0.01	0.13	0.00
<i>Pholidoteuthis boschmai</i>	1	0.23	1	0.06	s/d	s/d	0.01	0.00
<i>Sthenoteuthis oualaniensis</i>	10	2.29	17	1.02	2.00	0.01	2.35	0.08
<i>Thysanoteuthis rhombus</i>	2	0.46	2	0.12	s/d	s/d	0.05	0.00
<b>Osteichthyes</b>								
<i>Arius</i> spp.	3	0.69	4	0.24	99.80	0.34	0.40	0.01
<i>Auxis</i> spp.	69	15.79	118	7.08	6867.31	23.11	476.71	15.48
<i>Auxis rochei</i>	7	1.60	7	0.42	1163.78	3.92	6.95	0.23
<i>Auxis thazard</i>	7	1.60	7	0.42	3613.2	12.16	20.15	0.65
<i>Canthidermis maculatus</i>	12	2.75	14	0.84	813.84	2.74	9.83	0.32
<i>Caranx caballus</i>	21	4.81	29	1.74	1002.36	3.37	24.57	0.80
<i>Chloroscombrus orqueta</i>	7	1.60	288	17.28	526.49	1.77	30.51	0.99
<i>Coryphaena</i> spp.	40	9.15	47	2.82	4401.40	14.81	161.40	5.24
<i>Decapterus</i> spp.	1	0.23	3	0.18	4.20	0.01	0.04	0.00
<i>Euthynnus lineatus</i>	47	10.76	59	3.54	3828.84	12.88	176.62	5.74
<i>Exocoetus volitans</i>	4	0.92	6	0.36	38.87	0.13	0.45	0.01
<i>Gymnothorax</i> spp.	33	7.55	35	2.10	1369.78	4.61	50.67	1.65
<i>Katsuwonus pelamis</i>	3	0.69	7	0.42	411.03	1.38	1.24	0.04
<i>Neoconger vermiformis</i>	3	0.69	3	0.18	25.30	0.09	0.18	0.01
<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	15	3.43	17	1.02	336.88	1.13	7.39	0.24
<i>Remora remora</i>	3	0.69	3	0.18	224.55	0.76	0.64	0.02
<i>Selar crumenophthalmus</i>	4	0.92	11	0.66	501.03	1.69	2.15	0.07
<i>Strongylura exilis</i>	3	0.69	3	0.18	102.37	0.34	0.36	0.01
<i>Thunnus albacares</i>	1	0.23	1	0.06	95.83	0.32	0.09	0.00
<i>Vinciguerria lucetia</i>	1	0.23	1	0.06	7.80	0.03	0.02	0.00
<b>Crustacea</b>								
<i>Litopenaeus vannamei</i>	12	2.75	18	1.08	30.51	0.10	3.25	0.11
<i>Squilla biformis</i>	14	3.20	22	1.32	39.32	0.13	4.65	0.15
Resto de Peces	134	30.66			3320.31	11.17	762.06	24.75
MONI	4	0.92			18.77	0.06	0.06	0.002
<b>Total</b>		<b>175</b>	<b>1543</b>	<b>100</b>	<b>29712.19</b>	<b>100</b>	<b>2939</b>	<b>100</b>
<b>Total Estómagos</b>	<b>437</b>							

Expresadas en valores absolutos y porcentuales de los métodos de frecuencia de aparición (FA), numérico (N), gravimétrico (P), e índice de importancia relativa (IIR); sin dato (s/d).

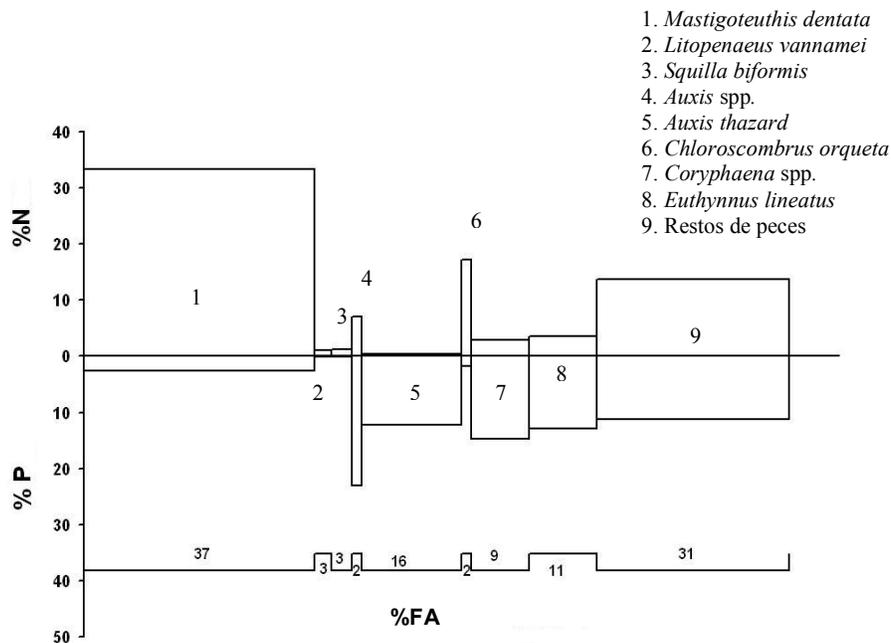


Figura 11. Espectro trófico combinado (tres métodos de análisis) del tiburón martillo *Sphyrna lewini* durante el año 2005, presentado como porcentajes del número (N), peso (P), y frecuencia de aparición (FA).

En la tabla 4 se muestran las categorías alimenticias que integran la dieta del tiburón martillo en el año 2006. Se registraron 18 especies presa, de las cuales uno correspondió a un crustáceo, seis a cefalópodos y once peces.

Numéricamente, se obtuvo un total de 155 organismos presa (Tabla 4), de las cuales los peces representaron el 33% (51 organismos), los crustáceos el 36% (55 organismos) y los cefalópodos el 12% (19 organismos). La especie presa más representativa fue *Litopenaeus vannamei* con 36% (55 organismos; Fig. 12).

La biomasa registrada por las presas fue de 1,395 g, siendo un 78% peces (1,090 g), 7% crustáceos (109 g) y 0.5% cefalópodos (7.4 g) (Tabla 4). La especie más dominante en relación al peso fue *Auxis* spp. con 34% (479 g) (Fig.12).

Los peces fueron el componente más frecuente en la dieta con 26% (34 estómagos) seguido por cefalópodos (%15) y crustáceos en un 11% (Tabla 4). De las especies presa, las más comunes en la dieta fueron *Litopenaeus vannamei* con 16% y *Auxis* spp. con 14% (Fig.12).

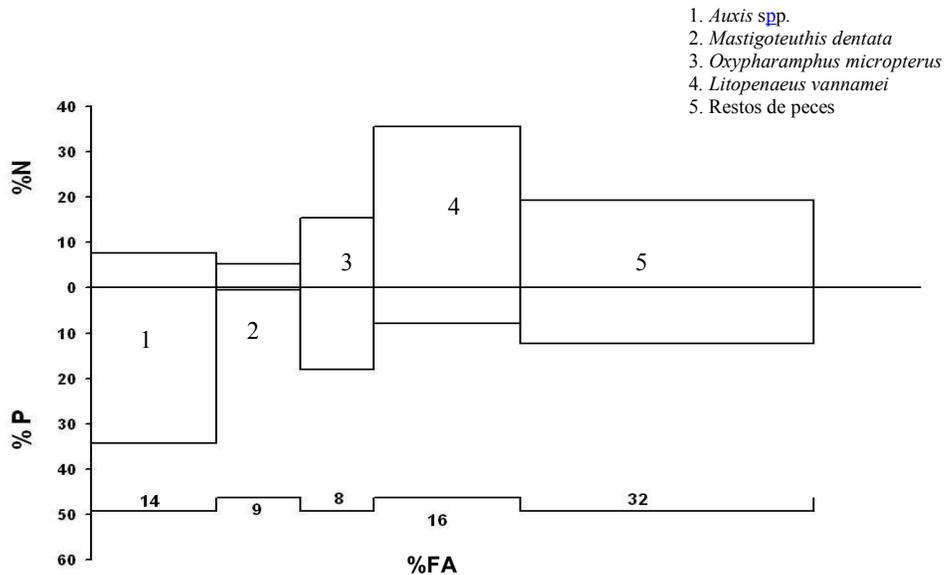


Figura 12. Espectro trófico combinado (tres métodos de análisis) del tiburón martillo *Sphyrna lewini* durante el año 2006, presentado como porcentajes del número (N), peso (P), y frecuencia de aparición (FA).

Tabla 4. Categorías alimenticias de la dieta del tiburón martillo *Sphyrna lewini* para el año 2006.

<i>Especies presa</i>	<i>FA</i>	<i>%FA</i>	<i>N</i>	<i>%N</i>	<i>P(g)</i>	<i>%P(g)</i>	<i>IIR</i>	<i>%IIR</i>
<b>Cephalopoda</b>								
<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	2	2.27	2	1.29	s/d	0.00	2.93	0.11
<i>Mastigoteuthis dentata</i>	8	9.09	8	5.16	7.4	0.53	51.74	1.91
<i>Lolliguncula diomedea</i>	1	1.14	1	0.65	s/d	0.00	0.73	0.03
<i>Octopodoteuthis sicula</i>	3	3.41	3	1.94	s/d	0.00	6.60	0.24
<i>Pholidoteuthis boschmai</i>	2	2.27	2	1.29	s/d	0.00	2.93	0.11
<i>Sthenoteuthis oualaniensis</i>	3	3.41	3	1.94	s/d	0.00	6.60	0.24
<b>Osteichthyes</b>								
<i>Arius</i> spp.	1	1.14	1	0.65	5.82	0.42	1.21	0.04
<i>Auxis</i> spp.	12	13.64	12	7.74	479.48	34.37	574.27	21.17
<i>Auxis thazard</i>	1	1.14	1	0.65	21.4	1.53	2.48	0.09
<i>Caranx</i> spp.	1	1.14	1	0.65	70.75	5.07	6.50	0.24
<i>Euthynus lineatus</i>	1	1.14	1	0.65	25.90	1.86	2.84	0.10
<i>Gymnothorax</i> spp.	5	5.68	5	3.23	93.27	6.69	56.32	2.08
<i>Canthidermis macullatus</i>	3	3.41	3	1.94	65.09	4.67	22.50	0.83
<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	7	7.95	24	15.48	251.66	18.04	266.67	9.83
<i>Neoconger vermiformis</i>	1	1.14	1	0.65	5.48	0.39	1.18	0.04
<i>Remora remora</i>	1	1.14	1	0.65	6.31	0.45	1.25	0.05
<i>Selene peruviana</i>	1	1.14	1	0.65	64.46	4.62	5.98	0.22
<b>Crustacea</b>								
<i>Litopenaeus vannamei</i>	14	15.91	55	35.48	108.99	7.81	688.81	25.39
Resto de Peces	28	31.82			172.83	12.39	1010.03	37.23
MONI	1	1.14			16.18	1.16	1.32	0.05
<i>Total</i>		130	173	100	1395.02	100	2769	100
<b>Total Estómagos</b>	<b>88</b>							

Expresadas en valores absolutos y porcentuales de los métodos de frecuencia de aparición (FA), numérico (N), gravimétrico (P), e índice de importancia relativa (IIR); sin dato (s/d).

### 3.1.2. Descripción por intervalos de tallas

En la tabla 5 se describen las categorías alimenticias de la dieta del tiburón martillo con base a los intervalos de tallas y sexos del año 2004.

La dieta de hembras juveniles de tiburón martillo se conformó por cuatro especies presa. Con base al método numérico la presa dominante fue el calamar *Mastigoteuthis dentata* (57%), así como en relación a la frecuencia de aparición (405); mientras que gravimétricamente fue *Gymnothorax* spp. la especie principal (41%). No se obtuvieron estómagos de hembras adultas por lo que no se pudo cuantificar su dieta.

Los machos juveniles y en desarrollo de tiburón martillo consumieron tres categorías alimenticias, de las cuales el barrilete *Euthynnus lineatus* fue la especie más común y dominante en relación a la abundancia numérica (33 y 67% respectivamente), en relación a la frecuencia de aparición representó 6% en juveniles y 50% en tiburones en desarrollo; sobre la biomasa aportó, para cada intervalo de talla, 98 y 79% a la dieta. Por otro lado, la caballa *Auxis* spp. fue el segundo pez más importante en cuanto a la frecuencia de aparición (50%) y *Chloroscombrus orqueta* en relación a la abundancia numérica (67%).

La dieta de machos adultos se integró de ocho tipos de presa; la especie más frecuente y la que mayor biomasa aportó fue *Auxis* spp. (59% en frecuencia de aparición, 18% en abundancia y 61% en biomasa); sin embargo, en abundancia la presa más importante fue el calamar *Mastigoteuthis dentata* (57%).

Tabla 5. Categorías alimenticias de la dieta del tiburón martillo *Sphyrna lewini* para el año 2004, con base al intervalo de talla y sexo.

**HEMBRAS JUVENILES**

Especies presa	FA	%FA	N	%N	P(g)	%P(g)	IIR	%IIR
<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	1	10	1	14.29	s/d	s/d	142.86	3.08
<i>Gymnothorax</i> spp.	1	10	1	14.29	7.52	41.3	555.82	12.01
<i>Mastigoteuthis dentata</i>	4	40	4	57.14	4.5	24.71	3274.2	70.74
<i>Exocoetus</i> spp.	1	10	1	14.29	3.04	16.69	309.8	6.69
Resto de peces	2	20			3.15	17.3	345.96	7.47
<b>Total</b>		<b>100</b>	<b>7</b>	<b>100</b>	<b>18.21</b>	<b>100</b>	<b>4628.6</b>	<b>100</b>
<b>Total estómagos</b>	<b>10</b>							

**MACHOS JUVENILES**

Especies presa	FA	%FA	N	%N	P(g)	%P(g)	IIR	%IIR
<i>Chloroscombrus orqueta</i>	2	12.5	2	66.67	1.94	0.12	834.83	48.76
<i>Euthynnus lineatus</i>	1	6.25	1	33.33	1582	98.09	821.41	47.98
Resto de peces	5	31.25			28.81	1.78	55.82	3.26
<b>Total</b>		<b>50</b>	<b>3</b>	<b>100</b>	<b>1612.75</b>	<b>100</b>	<b>1712.07</b>	<b>100</b>
<b>Total estómagos</b>	<b>16</b>							

**MACHOS EN DESARROLLO**

Especies presa	FA	%FA	N	%N	P(g)	%P(g)	IIR	%IIR
<i>Auxis</i> spp.	2	50	3	33.33	80.00	20.56	2694.46	26.97
<i>Euthynnus lineatus</i>	2	50	6	66.67	307.58	79.03	7285.97	72.92
Resto de peces	1	25			1.6	0.41	10.27	0.10
<b>Total</b>		<b>125</b>	<b>9</b>	<b>100</b>	<b>389.18</b>	<b>100</b>	<b>9989.72</b>	<b>100</b>
<b>Total estómagos</b>	<b>4</b>							

**MACHOS ADULTOS**

Especies presa	FA	%FA	N	%N	P(g)	%P(g)	IIR	%IIR
<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	1	5.88	1	1.63	s/d	s/d	9.64	0.127
<i>Auxis</i> spp.	10	58.82	11	18.03	1205.09	61	4671.18	61.43
<i>Canthidermis maculatus</i>	1	5.88	1	1.63	24.80	1	17.07	0.22
<i>Coryphaena</i> spp.	3	17.65	3	4.91	123.40	6	197.70	2.59
<i>Dosidicus gigas</i>	2	11.76	2	3.27	s/d	s/d	38.57	0.50
<i>Euthynnus lineatus</i>	4	23.53	6	9.83	526.25	27	862.09	11.34
<i>Mastigoteuthis dentata</i>	5	29.41	35	57.38	1.82	s/d	1690.28	22.23
<i>Sthenoteuthis oualaniensis</i>	1	5.88	2	3.27	s/d	s/d	19.29	0.25
Resto de peces	4	23.53			82.05	4	98.33	1.29
<b>Total</b>		<b>182.35</b>	<b>61</b>	<b>100</b>	<b>1963.41</b>	<b>100</b>	<b>7604.17</b>	<b>100</b>
<b>Total estómagos</b>	<b>17</b>							

Se presentan los valores absolutos y porcentuales de los métodos de frecuencia de aparición (FA), numérico (N), gravimétrico (P), e índice de importancia relativa (IIR); sin dato (s/d).

Para el 2005 (Tabla 6) la dieta de hembras juveniles y en desarrollo se conformó por 18 especies presa, de los cefalópodos *Argonauta noury* y *Mastigoteuthis dentata* fueron los más representativos en cuanto a frecuencia de aparición y abundancia. De los peces, *Chloroscombrus orqueta* fue la especie más numerosa (70%), mientras que *Auxis thazard* aportó una mayor biomasa en la dieta (33%)

Se identificaron 12 variedades de alimento en los estómagos de las hembras adultas. Se observó que consumen un gran número (23%) de calamares *Ancistrocheirus lesueurii* y *Mastigoteuthis dentata*, aunque en cuanto a la biomasa que brinda a la dieta, las especies más importantes fueron *Auxis* spp. (24%) y *Coryphaena* spp. (21%).

Se cuantificó un total de 26 presas en la dieta de tiburones martillo machos, de las cuales el calamar *Mastigoteuthis dentata* fue la presa más frecuente y abundante, siendo el porcentaje en los estómagos de tiburones juveniles de 16 y 12% respectivamente, en tiburones en desarrollo de 60 y 47% y en adultos 45 y 46 %.

En cuanto a los peces presa de tiburones macho juveniles en peso (26%), frecuencia (8%) y abundancia (7%) la caballa *Auxis* spp. es la más representativa. En la dieta de machos en desarrollo, *Euthynnus lineatus* fue la presa más frecuente (15%) y con mayor aporte de biomasa (19%) a la dieta, a diferencia de *Auxis* spp. que nuevamente fue la presa más abundante (4%).

Referente a los machos adultos *Auxis* spp. fue el pez más frecuente (27%), abundante (16%) y con mayor aporte de biomasa (30%) a la dieta.

Tabla 6. Categorías alimenticias de la dieta del tiburón martillo *Sphyrna lewini* para el año 2005, con base al intervalo de talla y sexo.

#### HEMBRAS JUVENILES

<i>Especies presa</i>	FA	%FA	N	%N	P(g)	%P(g)	IIR	%IIR
<i>Argonauta noury</i>	2	2.41	12	3	5.10	0.16	7.77	0.65
<i>Mastigoteuthis dentata</i>	13	15.66	22	6	5.41	0.17	90.63	7.54
<i>Litopenaeus vannamei</i>	5	6.02	6	2	6.68	0.22	10.52	0.87
<i>Squilla biformis</i>	3	3.61	4	1	8.27	0.27	4.65	0.39
<i>Arius</i> spp.	2	2.41	2	1	29.48	0.95	3.52	0.29
<i>Auxis</i> spp.	3	3.61	3	1	141.35	4.55	19.22	1.60
<i>Auxis rochei</i>	2	2.41	2	1	425.30	13.70	34.23	2.85
<i>Auxis thazard</i>	2	2.41	2	1	1014.90	32.69	79.99	6.65
<i>Caranx caballus</i>	2	2.41	2	1	86.32	2.78	7.93	0.66
<i>Chloroscombrus orqueta</i>	3	3.61	276	70	487.17	15.69	311.20	25.87
<i>Coryphaena</i> spp.	2	2.41	2	1	26.13	0.84	3.26	0.27
<i>Decapterus</i> spp.	1	1.20	3	1	4.20	0.14	1.09	0.09
<i>Euthynnus lineatus</i>	4	5	4	1	475.20	15.30	78.67	6.54
<i>Exocoetus volitans</i>	1	1.20	3	1	32.70	1.05	2.19	0.18
<i>Gymnothorax</i> spp.	7	8.43	7	2	175.60	5.66	62.76	5.22
<i>Neoconger vermiformis</i>	2	2.41	2	1	25.30	0.81	3.19	0.27
<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	1	1.20	1	0	22.30	0.72	1.17	0.10
Resto de peces	28	33.73			133.58	4.30	480.76	39.97
<b>Total</b>		<b>100</b>	<b>392</b>	<b>100</b>	<b>3104.99</b>	<b>100</b>	<b>1202.75</b>	<b>100</b>
<b>Total estómagos</b>	<b>75</b>							

#### HEMBRAS EN DESARROLLO

<i>Especies presa</i>	FA	%FA	N	%N	P(g)	%P(g)	IIR	%IIR
<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	2	28.57	2	25	s/d	s/d	714.29	9.09
<i>Mastigoteuthis dentata</i>	2	28.57	2	25	s/d	s/d	714.29	9.09
Resto de peces	3	42.86			22.01	100	6428.57	81.82
<b>Total</b>		<b>100</b>	<b>8</b>	<b>100</b>	<b>22.01</b>	<b>100</b>	<b>7857.14</b>	<b>100</b>
<b>Total estómagos</b>	<b>7</b>							

#### HEMBRAS ADULTAS

<i>Especies presa</i>	FA	%FA	N	%N	P(g)	%P(g)	IIR	%IIR
<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	5	11.11	25	23.00	s/d	s/d	250.25	11.13
<i>Dosidicus gigas</i>	5	11.11	14	13.00	7.90	0.35	144.12	6.41
<i>Mastigoteuthis dentata</i>	12	26.67	26	23.00	s/d	s/d	624.62	27.79
<i>Sthenoteuthis oualaniensis</i>	4	8.88	5	4.50	1.00	0.04	40.44	1.80
<i>Auxis</i> spp.	4	8.88	4	3.60	539.13	24.00	249.16	11.08
<i>Auxis rochei</i>	1	2.22	1	0.90	246.00	11.15	26.77	1.19

<i>Auxis thazard</i>	1	2.22	1	0.90	324.60	14.71	34.68	1.54
<i>Canthidermis maculatus</i>	1	2.22	1	0.90	20.30	0.92	4.05	0.18
<i>Caranx caballus</i>	1	2.22	6	5.40	121.80	5.51	24.28	1.08
<i>Coryphaena</i> spp.	3	6.66	6	5.40	464.00	21.02	176.19	7.84
<i>Euthynnus lineatus</i>	6	13.33	6	5.40	310.30	14.06	259.53	11.55
<i>Gymnothorax</i> spp.	2	4.44	2	1.80	3.50	0.15	8.71	0.39
Resto de peces	9	20.00			168.55	7.63	404.99	18.02
<b>Total</b>		<b>120.00</b>	<b>111</b>	<b>100</b>	<b>2207.08</b>	<b>100</b>	<b>2247.80</b>	<b>100</b>
<b>Total estómagos</b>	<b>45</b>							

### MACHOS JUVENILES

<i>Especies presa</i>	FA	%FA	N	%N	P(g)	%P(g)	IIR	%IIR
<i>Lollinguncula diomedea</i>	1	1.3	1	1.20	s/d	s/d	1.56	0.05
<i>Mastigoteuthis dentata</i>	9	11.69	13	15.66	14.32	1.04	195.25	7.25
<i>Squilla biformis</i>	1	1.29	1	1.20	0.28	0.02	1.59	0.05
<i>Auxis</i> spp.	6	7.79	6	7.22	354.2	25.77	257.11	9.55
<i>Auxis rochei</i>	1	1.29	1	1.20	209.2	15.22	21.33	0.79
<i>Caranx caballus</i>	2	2.59	3	3.61	22.7	1.65	13.67	0.50
<i>Chloroscombrus orqueta</i>	1	1.29	2	2.41	0.46	0.03	3.17	0.11
<i>Coryphaena</i> spp.	3	3.89	3	3.61	58.43	4.25	30.64	1.13
<i>Euthynnus lineatus</i>	5	6.49	5	6.02	72.64	5.28	73.43	2.72
<i>Exocoetus volitans</i>	1	1.29	1	1.20	3.55	0.25	1.90	0.07
<i>Gymnothorax</i> spp.	4	5.19	4	4.81	18.24	1.32	31.92	1.18
<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	2	2.59	3	3.61	6.66	0.48	10.64	0.39
Resto de peces	17	22.08			613.83	44.66	2049.98	76.14
<b>Total</b>		<b>68.83</b>	<b>83</b>	<b>100</b>	<b>1374.47</b>	<b>100</b>	<b>2692.24</b>	<b>100</b>
<b>Total estómagos</b>	<b>77</b>							

### MACHOS EN DESARROLLO

<i>Especies presa</i>	FA	%FA	N	%N	P(g)	%P(g)	IIR	%IIR
<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	4	4.34	5	0.98	s/d	s/d	4.28	0.08
<i>Argonauta noury</i>	2	2.17	62	12.23	82.27	1.48	29.80	0.59
<i>Dosidicus gigas</i>	4	4.34	19	3.74			16.29	0.32
<i>Mastigoteuthis dentata</i>	55	59.78	237	46.75	393.00	7.08	3217.8	64.03
<i>Octopodoteuthis sícula</i>	2	2.17	2	0.39	s/d	s/d	0.85	0.01
<i>Pholidoteuthis boschmai</i>	1	1.08	2	0.39	s/d	s/d	0.42	0.008
<i>Sthenoteuthis oualaniensis</i>	3	3.26	4	0.78	s/d	s/d	2.57	0.05
<i>Thysanoteuthis rhombus</i>	2	2.17	2	0.39	s/d	s/d	0.85	0.01
<i>Litopeaeus vannamei</i>	3	3.26	8	1.57	12.95	0.23	5.90	0.11
<i>Squilla biformis</i>	7	7.60	11	2.17	13.51	0.24	18.36	0.36
<i>Auxis</i> spp.	13	14.12	19	3.74	924.55	16.65	288.28	5.73
<i>Auxis rochei</i>	1	1.08	1	0.19	169.70	3.05	3.53	0.07
<i>Auxis thazard</i>	1	1.08	1	0.19	531.70	9.57	10.62	0.21
<i>Canthidermis maculatus</i>	2	2.17	2	0.39	158.00	2.84	7.04	0.14
<i>Caranx caballus</i>	9	9.78	11	2.17	539.84	9.72	116.35	2.31
<i>Chloroscombrus orqueta</i>	4	4.34	11	2.17	50.86	0.91	13.41	0.26
<i>Coryphaena</i> spp.	10	10.87	11	2.17	572.18	10.31	135.61	2.69
<i>Euthynnus lineatus</i>	14	15.22	17	3.35	1033.47	18.62	334.30	6.65
<i>Gymnothorax</i> spp.	7	7.60	8	1.57	37.34	0.67	17.12	0.34
<i>Neoconger vermiformis</i>	1	1.08	1	0.19			0.21	0.004

<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	8	8.69	9	1.77	244.04	4.39	53.66	1.06
<i>Remora remora</i>	1	1.08	1	0.19	86.05	1.55	1.89	0.03
<i>Selar crumenophthalmus</i>	1	1.08	8	1.57	137.7	2.48	4.41	0.08
<i>Vinciguerria lucetia</i>	1	1.08	1	0.19	7.80	0.14	0.37	0.01
Resto de peces	33	35.87			556.7	10.03	741.73	14.76
<b>Total</b>		<b>205.43</b>	<b>507</b>	<b>100</b>	<b>5551.66</b>	<b>100</b>	<b>5025.71</b>	<b>100</b>
<b>Total estómagos</b>	<b>92</b>							

### MACHOS ADULTOS

<i>Especies presa</i>	FA	%FA	N	%N	P(g)	%P(g)	IIR	%IIR
<i>Ancistrocheirus lesueuriiiii</i>	3	1.91	7	1.21	s/d	s/d	2.31	0.05
<i>Dosidicus gigas</i>	6	3.82	16	2.77	s/d	s/d	10.58	0.21
<i>Gonatus spp.</i>	1	0.64	1	0.17	s/d	s/d	0.11	0.00
<i>Lollinguncula diomedeeae</i>	1	0.64	1	0.17	s/d	s/d	0.11	0.00
<i>Mastigoteuthis dentata</i>	70	44.59	265	45.85	352.34	2.01	2133.86	43.05
<i>Octopodoteuthis simula</i>	1	0.64	1	0.17	2.00	0.01	0.12	0.00
<i>Sthenoteuthis oualaniensis</i>	3	1.91	8	1.38	1.00	0.01	2.66	0.05
<i>Litopenaeus vannamei</i>	3	1.91	3	0.52	6.48	0.04	1.06	0.02
<i>Squilla biformis</i>	3	1.91	6	1.04	17.26	0.10	2.17	0.04
<i>Arius spp.</i>	1	0.64	2	0.35	64.10	0.37	0.45	0.01
<i>Auxis spp.</i>	45	28.66	88	15.22	5304.19	30.28	1304.41	26.32
<i>Auxis thazard</i>	4	2.55	4	0.69	1749.50	9.99	27.21	0.55
<i>Canthidermis maculatus</i>	8	5.10	10	1.73	623.54	3.56	26.96	0.54
<i>Caranx caballus</i>	5	3.18	5	0.87	208.80	1.19	6.55	0.13
<i>Coryphaena spp.</i>	20	12.74	23	3.98	3155.50	18.02	280.20	5.65
<i>Euthynnus lineatus</i>	17	10.83	26	4.50	1928.73	11.01	167.95	3.39
<i>Exocoetus volitans</i>	2	1.27	2	0.35	2.62	0.01	0.46	0.01
<i>Gymnothorax spp.</i>	8	5.10	8	1.38	65.00	0.37	8.94	0.18
<i>Katsuwonus pelamis</i>	2	1.27	6	1.04	369.53	2.11	4.01	0.08
<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	4	2.55	4	0.69	63.88	0.36	2.69	0.05
<i>Remora remora</i>	2	1.27	2	0.35	138.50	0.79	1.45	0.03
<i>Selar crumenophthalmus</i>	3	1.91	3	0.52	363.33	2.07	4.96	0.10
<i>Strongylura exilis</i>	3	1.91	3	0.52	102.37	0.58	2.11	0.04
<i>Thunnus albacares</i>	1	0.64	1	0.17	95.83	0.55	0.46	0.01
Resto de peces	49	31.21			2900.14	16.56	964.97	19.47
<b>Total</b>		<b>168.79</b>	<b>578</b>	<b>100</b>	<b>17514.60</b>	<b>100</b>	<b>4956.75</b>	<b>100</b>
<b>Total estómagos</b>	<b>157</b>							

Se presentan los valores absolutos y porcentuales de los métodos de frecuencia de aparición (FA), numérico (N), gravimétrico (P), e índice de importancia relativa (IIR); sin dato (s/d).

Con base al análisis cualitativo y cuantitativo, para el año 2006, en la tabla 7 se presentan las categorías alimenticias de la dieta del tiburón martillo por intervalos de tallas. En la dieta de hembras juveniles se identificaron diez especies presa, de las cuales el camarón blanco *Litopenaeus vannamei* fue la de mayor frecuencia de aparición y abundancia numérica. Asimismo se definió que *Litopenaeus vannamei* y el pez volador *Oxyporhamphus micropterus* fueron las especies con mayor aportación en biomasa.

A partir de lo que consumen los machos juveniles se cuantificaron seis especies presa, de las cuales el camarón blanco *Litopenaeus vannamei* fue la más común y numerosa para el tiburón martillo. Sin embargo, en relación al peso de las presas, *Selene peruviana* y *Canthidermis maculatus* fueron las especies más importantes.

Tabla 7. Categorías alimenticias de la dieta del tiburón martillo *Sphyrna lewini* para el año 2006, con base al intervalo de talla y sexo.

**HEMBRAS JUVENILES**

<i>Especies presa</i>	<i>FA</i>	<i>%FA</i>	<i>N</i>	<i>%N</i>	<i>P(g)</i>	<i>%P(g)</i>	<i>IIR</i>	<i>%IIR</i>
<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	1	1.89	1	1.10	5.82	1.03	4.01	0.12
<i>Mastigoteuthis dentata</i>	5	9.43	5	5.49	1.40	0.25	54.17	1.58
<i>Lolliguncula diomedea</i>	1	1.89	1	1.10	s/d	s/d	2.07	0.06
<i>Auxis thazard</i>	1	1.89	1	1.10	21.40	3.78	9.20	0.27
<i>Auxis</i> spp.	7	13.21	7	4.69	62.21	10.98	246.57	7.19
<i>Canthidermis maculatus</i>	2	3.77	2	2.20	3.58	0.63	10.68	0.31
<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	3	5.66	14	15.38	149.48	26.38	236.38	6.90
<i>Neoconger vermiformis</i>	1	1.89	1	1.10	5.48	0.97	3.90	0.11
<i>Litopenaeus vannamei</i>	9	1.98	34	37.36	82.55	14.57	881.80	25.73
<i>Gymnothorax</i> spp.	5	9.43	5	5.49	93.27	19.26	207.09	6.04
Resto de peces	20	37.74			141.55	24.98	1771.86	51.69
<i>Total</i>		<i>103.77</i>	<i>91</i>	<i>100</i>	<i>567.74</i>	<i>100</i>	<i>3427.72</i>	<i>100</i>
<b>Total estómagos</b>	<b>53</b>							

**MACHOS JUVENILES**

<i>Especies presa</i>	<i>FA</i>	<i>%FA</i>	<i>N</i>	<i>%N</i>	<i>P(g)</i>	<i>%P(g)</i>	<i>IIR</i>	<i>%IIR</i>
<i>Auxis</i> spp.	2	8.33	2	4.35	44.36	17.77	184.33	6.08
<i>Mastigoteuthis dentata</i>	2	8.33	2	4.35	3.00	1.20	46.25	1.53
<i>Canthidermis maculatus</i>	1	4.14	1	2.17	61.51	24.64	111.73	3.69
<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	4	16.67	10	21.74	23.18	9.29	517.09	17.07
<i>Selene peruviana</i>	1	4.17	1	2.17	64.46	25.82	116.66	3.85
<i>Litopenaeus vannamei</i>	5	20.83	21	46.65	26.44	10.59	1171.76	38.67
Resto de peces	7	29.17			26.66	10.58	882.17	29.11
<i>Total</i>		<i>91.67</i>	<i>46</i>	<i>100</i>	<i>249.61</i>	<i>100</i>	<i>3030.00</i>	<i>100</i>
<b>Total estómagos</b>	<b>24</b>							

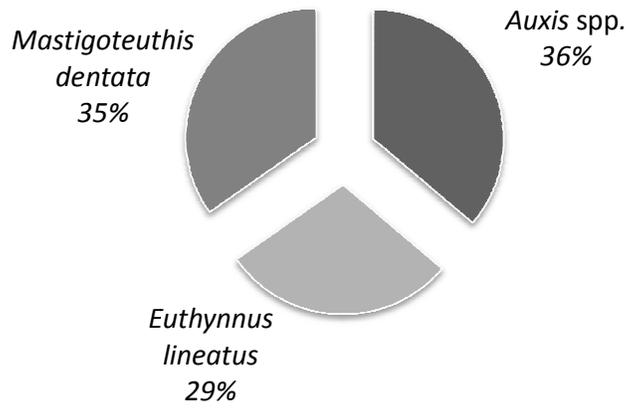
Se presentan los valores absolutos y porcentuales de los métodos de frecuencia de aparición (FA), numérico (N), gravimétrico (P), e índice de importancia relativa (IIR); sin dato (s/d).

### 3.2. Índice de importancia relativa

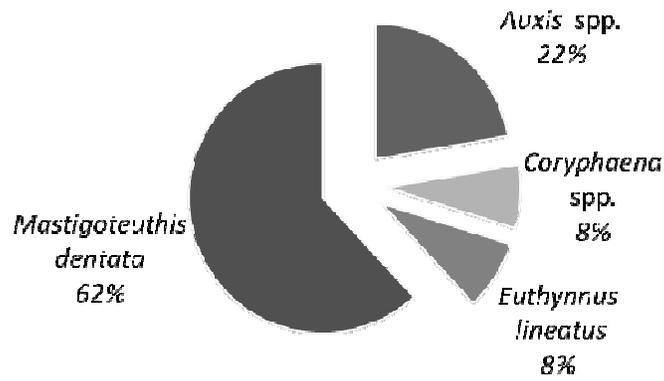
A partir de la descripción de la dieta del año 2004 el índice de importancia relativa (IIR) señaló a la caballa *Auxis* spp. y el calamar *Mastigoteuthis dentata* como los componentes alimenticios dominantes en la dieta del tiburón martillo, seguidos por el barrilete *Euthynnus lineatus* (Fig.13-a). Para el año 2005 de las 32 especies presa registradas, el IIR registró al calamar *M. dentata* como la más importante, seguido por *Auxis* spp., *E. lineatus* y el dorado *Coryphaena* spp. (Fig. 13-b). Durante el año 2006 se cuantificaron 21 categorías alimenticias, siendo el camarón blanco *Litopenaeus vannamei* el más importante, seguido por la caballa *Auxis* spp. En ese año se cuantificó un alto porcentaje de restos de peces en el estado de digestión 3 (Fig. 13-c).

En general las especies más importantes en la dieta de *Sphyrna lewini* para los 3 años de estudio fueron la caballa *Auxis* spp., el camarón blanco *Litopenaeus vannamei* y el calamar *Mastigoteuthis dentata*.

**a) % IIR 2004**



**b) % IIR 2005**



**c) % IIR 2006**

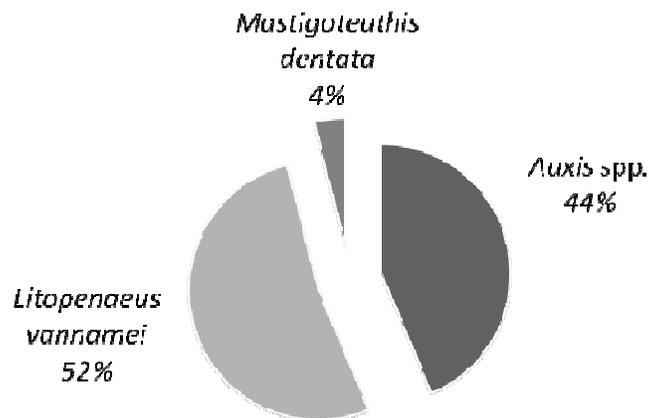


Figura 13. Índice de importancia relativa (%IIR) de la dieta del tiburón martillo (*Sphyrna lewini*) de los 3 años de muestreo: a) 2004, b) 2005 y c) 2006, en el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca.

### 3.3. Análisis estadísticos

#### 3.3.1. Análisis de agrupamiento

Con base en la abundancia numérica de presas encontradas en la dieta del tiburón martillo, el análisis de agrupamiento mostró que hay una mayor similitud en la dieta entre los años 2005 y 2006 (11.9 %) que entre el año 2004 con el año 2005 (2.9 %) y 2004 con 2006 (5.6%) (Fig. 14).

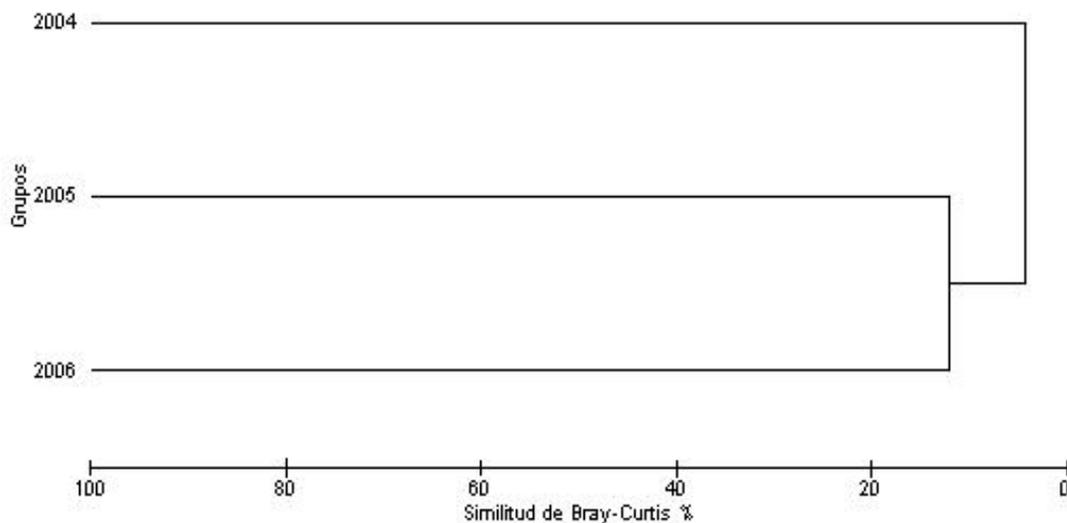


Figura 14. Dendrograma de 3 clases para los 3 años de estudio, utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis y el método de agrupamiento por promedio; se utilizó el número de organismos.

En relación con los intervalos de tallas (juveniles y en desarrollo, así como adultos), el sexo del tiburón martillo y los años de estudio, el análisis de agrupamiento separó dos grupos principales. En uno se incluyó a los tiburones de todo tipo registrados en el 2005 y 2006 (Fig. 15), mientras que en el segundo grupo se incorporó tanto a hembras y machos así como a juveniles y adultos registrados en 2004, y a las hembras juveniles del 2005 (Fig. 15).

Quedando excluidos de estos grupos las hembras adultas registradas en el 2004 (Fig. 15).

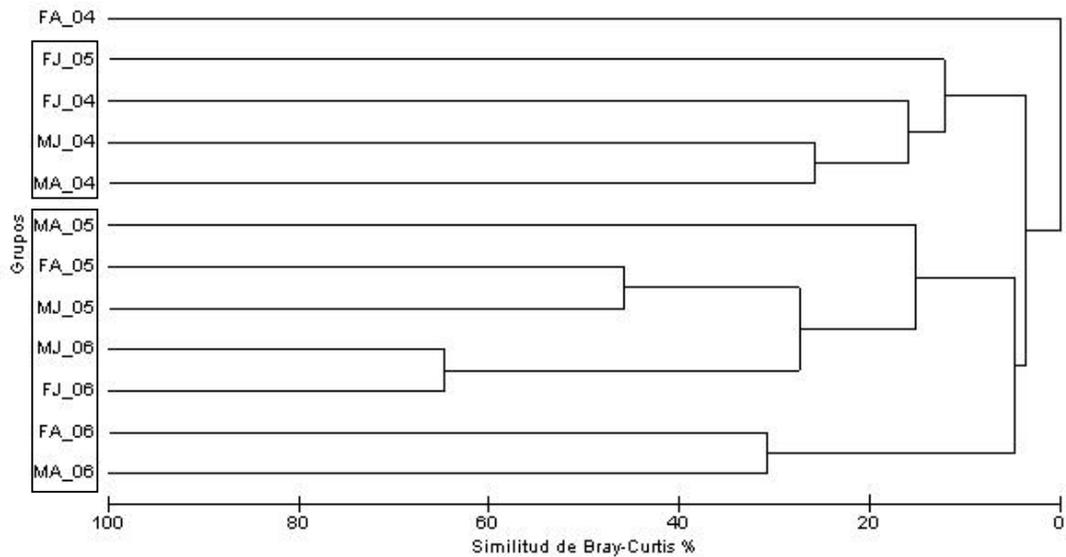


Figura 15. Dendrograma de 12 clases para la dieta analizada en el año 2004, 2005 y 2006 utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis y el método de agrupamiento promedio. FA (hembras adultas), FJ (hembras juveniles), MA (machos adultos), MJ (machos juveniles).

### 3.3.2. Análisis de similitud (ANOSIM)

Para el total de estómagos de tiburón martillo analizados en los tres años de estudio, la similitud de rango global  $R = 0.045$  no fue significativa ( $P = 0.059$ ; Tabla 8); sin embargo se registraron diferencias interanuales, así como por edad relativa (adultos, juveniles y en desarrollo) y por sexos (machos, hembras).

Tabla 8. Análisis de similitud (ANOSIM). Prueba de abundancia de presas por sexo, edad relativa y años de muestreo. El rango global de similitud fue  $R = 0.045$ ,  $P = 0.059$ ; J-D (juveniles y en desarrollo), A (adultos); M (machos), H (hembras).

	<b>Grupos</b>	<b>R</b>	<b>P</b>	<b>Similaridad</b>
<b>Anual</b>	2004 vs. 2005	-0.057	0.90	
	2004 vs. 2006	0.008	0.39	*
	2005 vs. 2006	0.096	0.001	*
<b>Edad relativa</b>	J-D vs. A	0.058	0.001	*
<b>Sexo</b>	M vs. H	0.091	0.001	*

El grupo 2004 vs. 2005 presentó un promedio de disimilitud de 77.19. Las categorías alimenticias que contribuyeron a la diferencia fueron *Auxis* spp. (presa abundante en 2004) y *Mastigoteuthis dentata*, que fue frecuente en 2005 (Tabla 9-a).

En 2004 vs. 2006, el promedio de disimilitud fue de 73.95 (Tabla 9-b), y la diferencia se debió a los registros de *Auxis* spp. (19.46) (presa común en 2004), *Mastigoteuthis dentata* y *Litopenaeus vannamei* (frecuente en 2006). Comparando 2005 vs. 2006 (disimilitud de 82.96) se observó que *Auxis* spp. y *M. dentata* aparecieron con abundancia en 2005 y, *Auxis* spp. y *L. vannamei* en 2006 (Tabla 9-c).

Al aplicar el análisis de similitud por intervalo de tallas (juveniles y adultos), del tiburón martillo, se registraron 11 categorías alimenticias comunes para ambos grupos. Las especies presa que contribuyeron a diferenciar las tallas fueron: *Auxis* spp. y *Euthynnus lineatus* ambos abundantes en la dieta de adultos (Tabla 10).

El ANOSIM aplicado por sexos del tiburón martillo, mostró que los organismos presa que más contribuyeron a la disimilitud fueron: *M. dentata* y *Auxis* spp., los cuales fueron las presas más consumidas por los machos (Tabla 11).

Tabla 9. Disimilitud entre grupos: (a) 2004 vs. 2005, (b) 2004 vs. 2006 y (c) 2005 vs. 2006. Para cada categoría alimenticia se presenta el promedio de abundancia por grupo y el promedio de disimilitud.

a) promedio de disimilitud de Bray-Curtis = 77.19				
Especies presa	Abundancia media 2004	Abundancia media 2005	Disimilitud media	Razón
<i>Auxis</i> spp.	1.93	1.03	22.06	1.03
<i>Mastigoteuthis dentata</i>	1.47	1.79	21.50	0.93
<i>Euthynnus lineatus</i>	0.43	0.19	9.78	0.56

b) promedio de disimilitud de Bray-Curtis = 73.95				
Especies presa	Abundancia media 2004	Abundancia media 2006	Disimilitud media	Razón
<i>Auxis</i> spp.	1.93	0.62	19.46	0.91
<i>Mastigoteuthis dentata</i>	1.47	0.12	12.66	0.65
<i>Litopenaeus vannamei</i>	0.00	0.80	9.59	0.44
<i>Euthynnus lineatus</i>	0.43	0.01	8.80	0.49
<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	0.00	0.35	4.41	0.29

c) promedio de disimilitud de Bray-Curtis = 82.96				
Especies presa	Abundancia media 2005	Abundancia media 2006	Disimilitud media	Razón
<i>Auxis</i> spp.	1.03	0.62	19.86	0.93
<i>Mastigoteuthis dentata</i>	1.79	0.12	19.16	0.18
<i>Litopenaeus vannamei</i>	0.05	0.80	9.73	0.46
<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	0.05	0.35	5.01	0.33

Tabla 10. Disimilitud entre grupos: Juveniles vs. Adultos. Para cada categoría alimenticia se presenta el promedio de abundancia por grupo y el promedio de disimilitud.

c) promedio de disimilitud de Bray-Curtis = 82.96

Especies presa	Abundancia media Juveniles	Abundancia media Adultos	Disimilitud media	Razón
<i>Auxis</i> spp.	0.84	1.16	20.42	0.94
<i>Euthynnus lineatus</i>	0.10	0.23	6.23	0.43
<i>Litopenaeus vannamei</i>	0.39	0.01	4.70	0.32
<i>Coryphaena</i> spp.	0.05	0.16	4.06	0.37
<i>Gymnothorax</i> spp.	0.10	0.07	3.61	0.35
<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	0.18	0.04	2.88	0.27
<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	0.03	0.16	2.10	0.22
<i>Dosidicus gigas</i>	0.00	0.18	1.84	0.22
<i>Chloroscombrus orqueta</i>	1.68	0.00	1.75	0.17
<i>Canthidermis maculatus</i>	0.02	0.06	1.58	0.23
<i>Caranx caballus</i>	0.05	0.06	1.48	0.25
<i>Squilla biformis</i>	0.06	0.05	1.48	0.24

Tabla 11. Disimilitud entre grupos: Hembras vs. Machos. Las categorías alimenticias que se presentan son los de la razón  $\geq 2$ . Para cada componente trófico se presenta el promedio de abundancia por grupo y el promedio de disimilitud.

c) promedio de disimilitud de Bray-Curtis = 82.96

Especies presa	Abundancia media Hembras	Abundancia media Machos	Disimilitud media	Razón
<i>Mastigoteuthis dentata</i>	0.56	1.88	20.92	0.88
<i>Auxis</i> spp.	0.55	1.23	20.23	0.92
<i>Euthynnus lineatus</i>	0.08	0.21	5.77	0.42
<i>Litopenaeus vannamei</i>	0.33	0.11	5.29	0.34

### 3.3.3. Dominancia de las categorías alimenticias

La curva de k-dominancia de abundancia acumulativa de las especies presa presentes en la dieta del tiburón martillo, mostró que en el año 2004 la pendiente fue más pronunciada por una menor diversidad de categorías alimenticias; mientras que para el 2005 la pendiente es más suave, lo cual indica menos efecto de la dominancia de las principales especies presa (Fig. 16). Con base a la talla, los tiburones juveniles presentaron una diferencia pequeña en la dominancia acumulativa de especies presa comparada con los

tiburones adultos (Fig. 17). Por sexo, no se observó diferencia en la curva de dominancia de especies presa (Fig. 18).

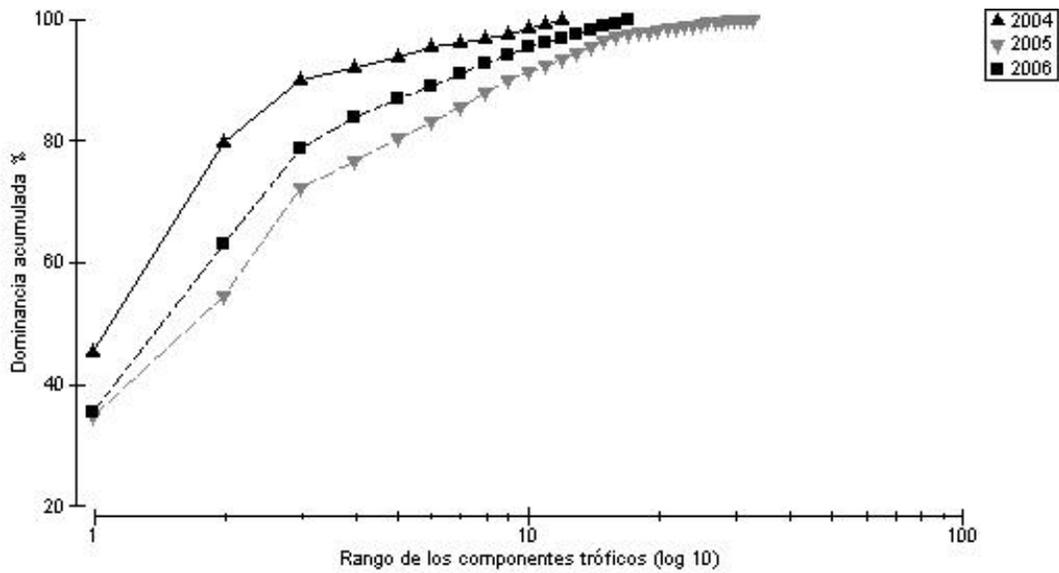


Figura 16. Curva de dominancia porcentual acumulada por años. El intervalo de cada categoría alimenticia se presenta en escala logarítmica (Log<sub>10</sub>).

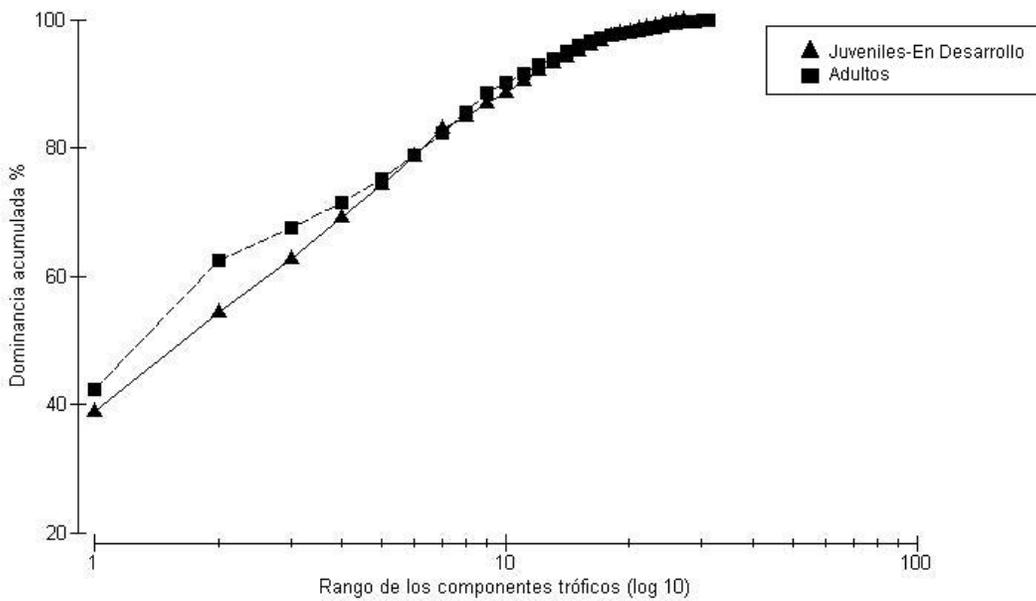


Figura 17. Curva de dominancia porcentual acumulada por edad relativa. El intervalo de cada categoría alimenticia esta en escala logarítmica ( $\text{Log}_{10}$ ).

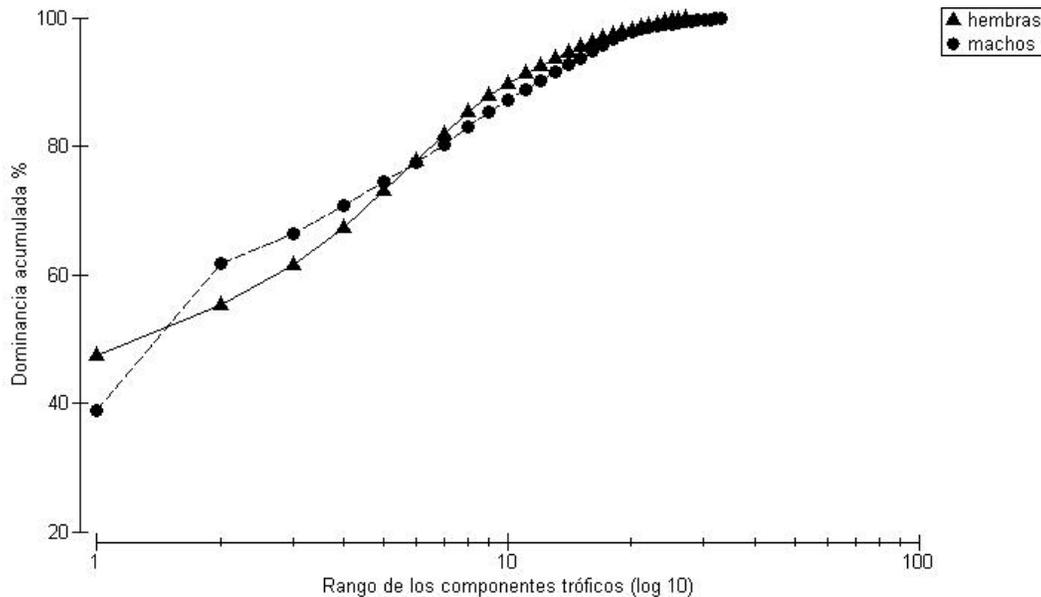


Figura 18. Curva de dominancia porcentual acumulada por sexos. El intervalo de cada categoría alimenticia se presenta en escala logarítmica ( $\text{Log}_{10}$ ).

### 3.4. Amplitud trófica

El índice de Levins indicó que la amplitud trófica en la dieta del tiburón martillo fue similar en los tres años de estudio. Para el año 2004 el promedio general del índice fue muy bajo ( $B_i = 0.2$ ; Fig. 19) con respecto al 2005 y 2006, dado por el reducido tamaño de la muestra, que se refleja en una baja diversidad de presas en la dieta del tiburón martillo. Los tiburones hembras tuvieron una amplitud trófica menor que los tiburones machos (Fig. 20); sin embargo, en los tiburones juveniles y en desarrollo la amplitud fue mayor que los tiburones adultos (Fig. 21).

La amplitud trófica para el año 2005 fue la más baja de los tres años de estudio (Fig. 19), y la amplitud trófica de las hembras fue más alta que en machos (Fig. 20). En relación con la edad relativa del tiburón martillo, la amplitud trófica fue similar tanto en tiburones juveniles, en desarrollo y adultos (Fig. 21).

En 2006, el promedio de amplitud trófica fue el más alto en el estudio (Fig. 19). Por sexo, se registró que la amplitud trófica en hembras y machos fue similar (Fig. 20); sin embargo considerando la edad relativa de los tiburones, los adultos presentaron una amplitud trófica más alta que los juveniles y en desarrollo (Fig. 21).

Figura 19. Amplitud trófica (Bi) del tiburón martillo *Sphyrna lewini*, derivado del índice estandarizado de Levins (promedio general).

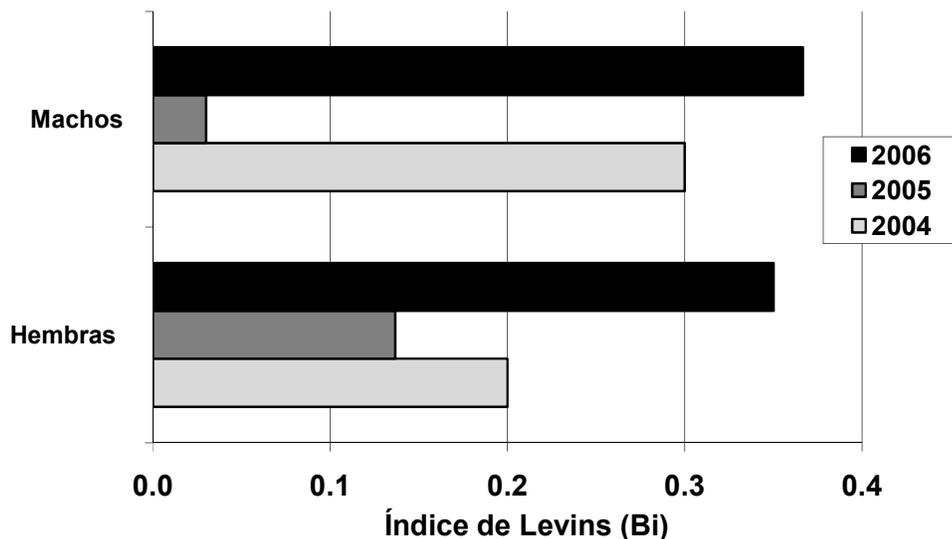


Figura 20. Amplitud trófica (Bi) por sexos del tiburón martillo *Sphyrna lewini* para los 3 años de estudio, derivado del índice estandarizado de Levins.

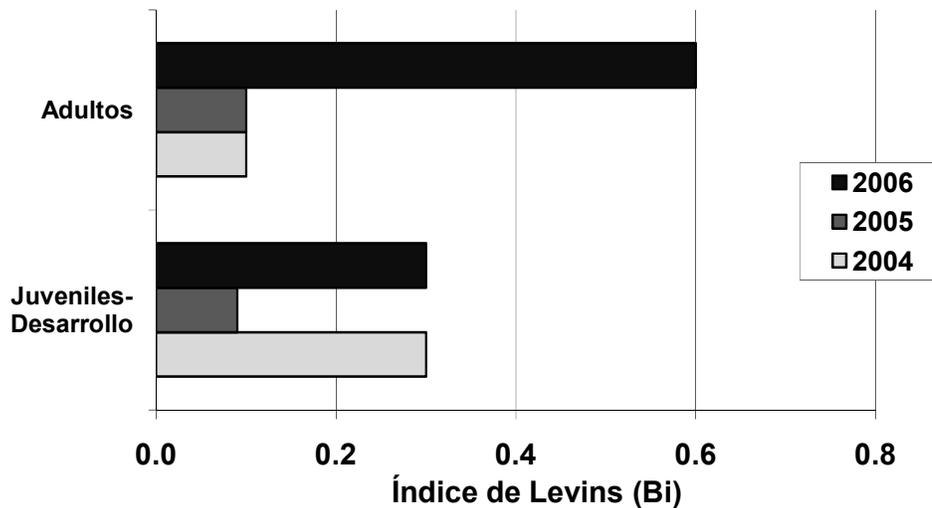


Figura 21. Amplitud trófica (Bi) por tallas del tiburón martillo *Sphyrna lewini* para los 3 años de estudio, derivado del índice estandarizado de Levins.

- **Análisis calorimétricos**

#### 4.1. Contenido energético de los tejidos muscular, hepático y gonádico

Durante el periodo de enero a agosto del año 2006, se obtuvo un total de 71 muestras de cada uno de los tejidos muscular, hepático y gonádico, de los cuales 69% fueron de tiburones martillo juvenil y el 31% de tiburones adultos (Anexo I; Fig. 1). En la Tabla 12 se presentan los promedios de los valores energéticos en kilocalorías por gramo (kcal/g) y desviación estándar del material seco (VCMS), material fresco (VCMF), y material libre de cenizas (VCLC) de los tejidos muscular, gonádico y hepático, así como los contenidos de humedad y cenizas (porcentajes). Se observó con base al promedio anual del valor calórico de la muestra seca (VCMS), el valor calórico de la muestra fresca (VCMF) y el valor calórico libre de cenizas (VCLC), que el hígado fue el tejido con mayor contenido calórico, seguido por las gónadas y el tejido muscular.

El porcentaje de humedad más alto se registró en el tejido muscular y el más bajo en hígado y gónadas. Con respecto al contenido de cenizas, el músculo fue el tejido donde se obtuvo mayor porcentaje, seguido por el hígado y gónadas (Tabla 12).

Tabla 12. Determinaciones calorimétricas del tiburón martillo *Sphyrna lewini* en el Golfo de Tehuantepec, durante 2006.

	<b>VCMS</b> kcal/g	<b>DS</b>	<b>H %</b>	<b>C %</b>	<b>VCMF</b> kcal/g	<b>DS</b>	<b>VCLC</b> kcal/g	<b>DS</b>
<b>HIGADO</b>	6.68	0.11	39.93	2.31	4.06	0.08	6.89	0.12
<b>MUSCULO</b>	4.25	0.15	74.59	5.83	1.08	0.04	4.52	0.16
<b>GONADA</b>	4.87	0.32	59.55	2.24	1.98	2.13	4.98	1.28

Donde VCMS (valor calórico de la muestra seca expresados en kcal/g); DS (desviación estándar); H %(porcentaje de humedad contenida en la muestra); C % (porcentaje de cenizas contenida en la muestra); VCMF (valor calórico de la muestra fresca); VCLC (valor calórico libre de cenizas).

El análisis Kruskal-Wallis por intervalos indicó que se registraron diferencias en los valores calóricos de los tejidos analizados del tiburón martillo ( $\chi^2 = 135.23$ ;  $g.l. = 2$ ;  $P < 0.001$ ) (Fig. 22). Con base en la prueba post-hoc se tuvo que el tejido hepático fue diferente a los demás tejidos debido a su mayor contenido energético.

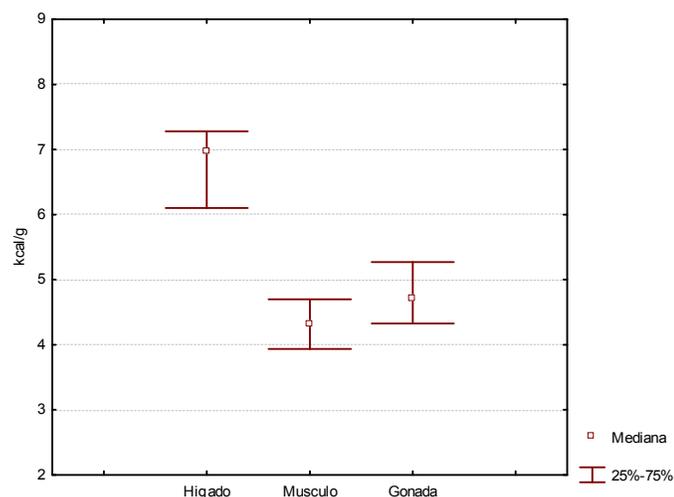


Figura 22. Análisis de varianza Kruskal-Wallis del contenido energético (VCMS) expresados en kcal/g de los tejidos tejido hepático, gonádico y muscular del tiburón martillo *Sphyrna lewini*.

Con base en los promedios mensuales del contenido energético (VCMS) presente en el tejido muscular, el análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias significativas ( $F_{(7, 109)} = 5.92$ ;  $P < 0.0001$ ; Fig. 23), debido a las variaciones en los meses de junio y julio cuando el contenido de energía fue mayor ( $> 4$  kcal/g; Tabla 13).

Tabla 13. Determinaciones calorimétricas, promedio mensual, del tejido muscular del tiburón martillo *Sphyrna lewini* en el Golfo de Tehuantepec, durante 2006.

MÚSCULO	VCMS kcal/g	DS	H %	C %	VCMF kcal/g	DS	VCLC kcal/g	DS
ANUAL	4.19	0.42	74.04	5.18	1.09	0.46	4.42	0.44
ENERO	4.05	0.60	73.00	3.60	1.09	0.60	4.20	0.40
FEBRERO	4.10	1.40	73.10	3.90	1.10	2.50	4.27	0.80
MARZO	4.06	0.12	73.10	4.00	1.09	0.03	4.23	0.13
ABRIL	4.12	0.60	73.00	4.10	1.11	0.40	4.30	1.50
MAYO	4.12	0.25	75.70	6.00	1.11	0.07	4.30	0.28
JUNIO	4.61	0.10	77.00	10.30	1.12	0.03	4.91	0.10
JULIO	4.63	0.17	73.90	4.70	1.06	0.04	5.16	0.17
AGOSTO	3.83	0.11	73.50	4.80	1.00	0.03	4.02	0.11

Donde VCMS (valor calórico promedio de la muestra seca expresados en kcal/g); DS (desviación estándar); H % (porcentaje de humedad contenida en la muestra); C % (porcentaje de cenizas contenida en la muestra); VCMF (valor calórico promedio de la muestra fresca); VCLC (valor calórico promedio libre de cenizas).

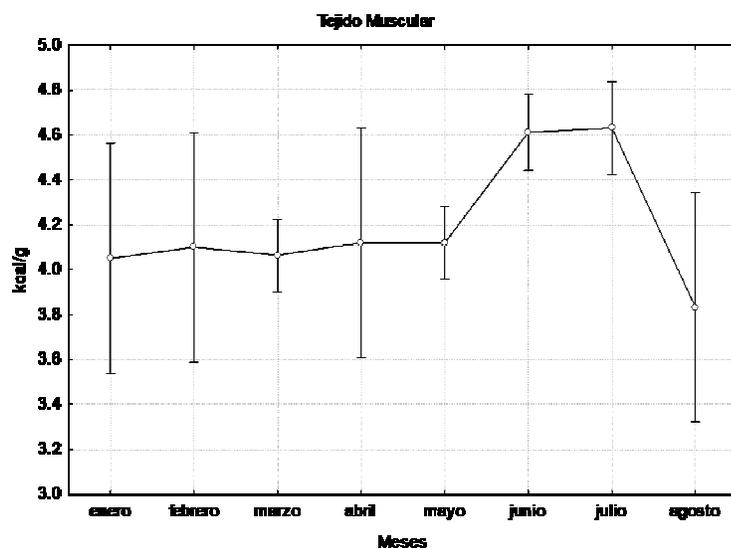


Figura 23. Análisis de varianza (ANOVA) del contenido energético expresado (VCMS) en kcal/g del tejido muscular. Donde (□): promedio; (|): desviación estándar

En el tejido hepático se registraron promedios altos de los valores calóricos de la muestra seca (VCMS) durante los meses de enero, febrero, marzo y abril; mientras que de mayo a septiembre fue cuando se obtuvieron los niveles más bajos de energía. En los meses de abril, mayo y junio el porcentaje del contenido de humedad y cenizas fueron los más altos de la muestra (Tabla 14). El análisis de varianza (ANOVA) mostró que las diferencias en los valores calóricos del hígado fueron significativas ( $F_{(7, 112)} = 11.28$ ;  $P < 0.0001$ ) entre los meses analizados (enero a agosto; Fig. 24).

Tabla 14. Determinaciones calorimétricas, promedio mensual, del tejido hepático del tiburón martillo *Sphyrna lewini* en el Golfo de Tehuantepec, durante 2006.

HIGADO	VCMS kcal/g	DS	H %	C %	VCMF kcal/g	DS	VCLC kcal/g	DS
ANUAL	6.68	0.11	37.96	2.86	4.06	0.08	6.89	0.12
ENERO	6.75	0.07	38.60	5.20	4.14	0.06	7.12	0.09
FEBRERO	6.85	0.05	38.50	5.00	4.16	0.05	7.22	0.07
MARZO	7.16	0.07	38.70	4.20	4.39	0.05	7.48	0.08
ABRIL	7.15	0.27	41.20	2.50	4.20	0.16	7.34	0.27
MAYO	5.73	0.09	39.30	2.20	3.48	0.06	5.86	0.09
JUNIO	6.65	0.15	41.00	1.60	3.92	0.14	6.76	0.24
JULIO	6.65	0.10	33.10	1.00	4.45	0.06	6.72	0.05
<b>AGOSTO</b>	6.52	0.09	33.30	1.20	3.78	0.08	6.66	0.07

Donde VCMS (valor calórico promedio de la muestra seca expresados en kcal/g); DS (desviación estándar); H %(porcentaje de humedad contenida en la muestra); C % (porcentaje de cenizas contenida en la muestra); VCMF (valor calórico promedio de la muestra fresca); VCLC (valor calórico promedio libre de cenizas).

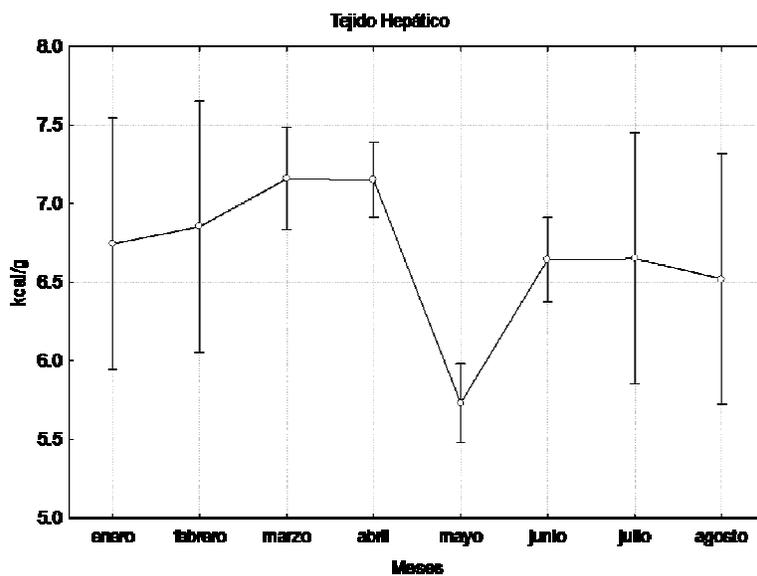


Figura 24. Análisis de varianza (ANOVA) del contenido energético expresado (VCMS) en kcal/g del tejido hepático. Donde (□): promedio; (|): desviación estándar.

Referente a los promedios mensuales del contenido energético presente en el tejido gonádico, el análisis de varianza indicó diferencias significativas entre los meses analizados ( $F_{(7, 103)} = 10.60$ ;  $P < 0.0001$ ; Fig. 25), siendo en el mes de mayo cuando se registró el promedio de energía más alto mientras que el promedio más bajo se observó en el mes de junio. El porcentaje de humedad contenido en las gónadas fue mayor en el mes de julio al igual que el contenido de cenizas (Tabla 15).

Tabla 15. Determinaciones calorimétricas, promedio mensual, del tejido gonadal del tiburón martillo *Sphyrna lewini* en el Golfo de Tehuantepec, durante 2006.

GÓNADA	VCMS kcal/g	DS	H %	C %	VCMF kcal/g	DS	VCLC kcal/g	DS
ANUAL	4.87	0.32	59.55	2.24	1.98	2.13	4.98	1.28
ENERO	4.78	0.65	67.20	1.20	1.57	2.30	4.84	0.50
FEBRERO	4.85	0.78	67.00	0.80	1.60	4.30	4.89	1.50
MARZO	4.80	0.32	68.80	0.50	1.50	2.50	4.82	3.20
ABRIL	4.92	0.36	68.30	0.60	1.56	0.50	4.95	0.60
MAYO	5.48	0.18	68.50	4.40	1.73	0.60	5.73	1.90
JUNIO	4.00	0.11	48.00	4.00	2.08	2.10	4.16	0.50
JULIO	4.75	0.12	75.90	6.00	1.14	4.20	5.05	0.50
AGOSTO	5.36	0.06	12.70	0.40	4.68	0.50	5.38	1.50

Donde VCMS (valor calórico promedio de la muestra seca expresados en kcal/g); DS (desviación estándar); H % (porcentaje de humedad contenida en la muestra); C % (porcentaje de cenizas contenida en la muestra); VCMF (valor calórico promedio de la muestra fresca); VCLC (valor calórico promedio libre de cenizas).

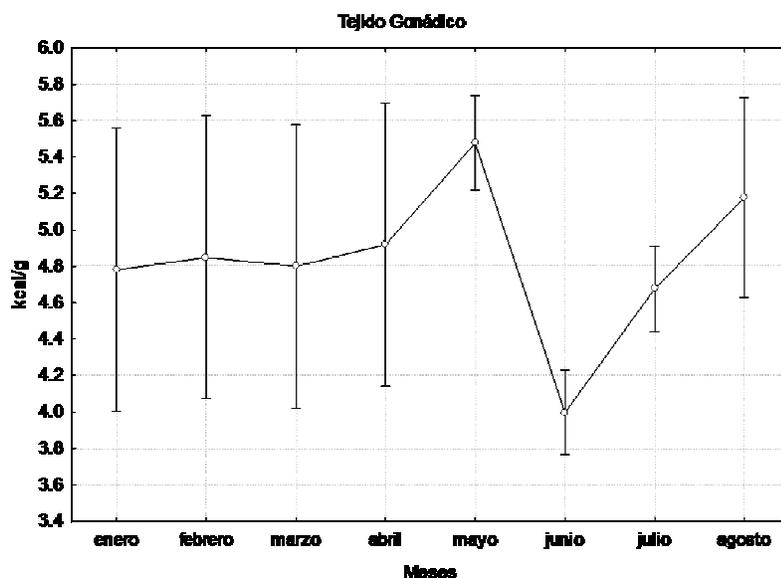


Figura 25. Análisis de varianza (ANOVA) del contenido energético expresado (VCMS) en kcal/g del tejido gonádico. Donde (□): promedio; (|) : desviación estándar.

Al realizar la separación entre tiburones martillo machos y hembras, se registró que en las gónadas de las hembras el promedio mensual del contenido energético fue mayor en el mes de mayo (5.44 kcal/g) así como el contenido de humedad en agosto (72%); mientras que el de cenizas alcanzó valores altos en junio y julio (3.2%) (Tabla 16-a). En gónadas de machos, en el mes agosto el contenido de energía fue más alto (5.63 kcal/g) y el porcentaje de humedad bajó hasta 54%; a diferencia, en los meses de junio y julio es cuando se da el mayor registró en el porcentaje de humedad contenido en el tejido (69 a 70%), y los contenidos de energía se mantienen relativamente bajos (4 kcal/g). En los meses de junio y julio también se registró un mayor porcentaje de contenido de cenizas (Tabla 16-b). Para ambos sexos, se registró el promedio más alto de los valores calóricos en los meses de mayo y agosto (Fig. 26)

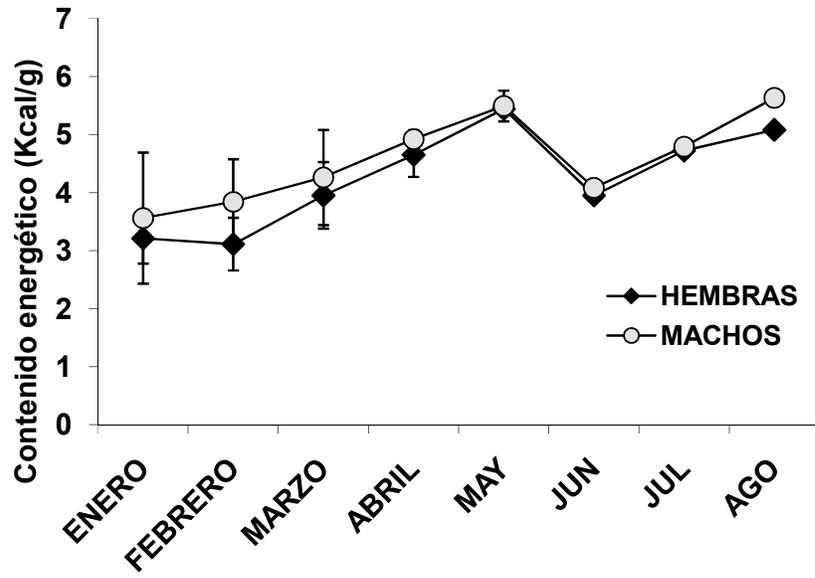


Figura 26. Contenido energético (VCMS) en tejido gonádico expresado en kcal/g por sexos del tiburón martillo *Sphyrna lewini* durante el 2006.

Tabla 16. Determinaciones calorimétricas del tejido gonádico, promedio mensual, (a) hembras y (b) machos de tiburón martillo *Sphyrna lewini* en el Golfo de Tehuantepec, durante 2006.

(a) HEMBRAS	VCMS kcal/g	DS	H %	C %	VCMF kcal/g	VCLC kcal/g
ENERO	3.21	0.50	68.30	2.00	1.02	3.28
FEBRERO	3.11	0.30	67.90	2.50	1.00	3.19
MARZO	3.95	0.80	68.00	2.10	1.26	4.03
ABRIL	4.65	1.20	69.30	2.70	1.43	4.78
MAYO	5.44	0.09	69.60	2.80	1.65	5.60
JUNIO	3.95	0.10	67.80	3.20	1.27	4.08
JULIO	4.72	0.11	67.00	3.20	0.04	0.11
AGOSTO	5.08	0.07	72.80	2.10	0.02	0.08
<b>PROMEDIO</b>	3.06	0.54	68.84	2.58	0.96	3.06

(b) MACHOS	VCMS kcal/g	DS	H %	C %	VCMF kcal/g	VCLC kcal/g
ENERO	3.56	0.30	67.80	3.20	1.15	3.68
FEBRERO	3.84	0.20	68.00	4.50	1.23	4.02
MARZO	4.26	0.50	67.90	6.30	1.37	4.55
ABRIL	4.92	0.20	68.00	6.00	1.57	5.23
MAYO	5.49	0.20	68.30	4.40	1.74	5.74
JUNIO	4.08	0.11	69.80	9.30	1.23	4.50
JULIO	4.79	0.13	70.30	8.30	1.42	5.22
AGOSTO	5.63	0.04	54.30	2.70	2.57	5.79
<b>PROMEDIO</b>	4.57	0.21	66.80	5.59	1.54	4.84

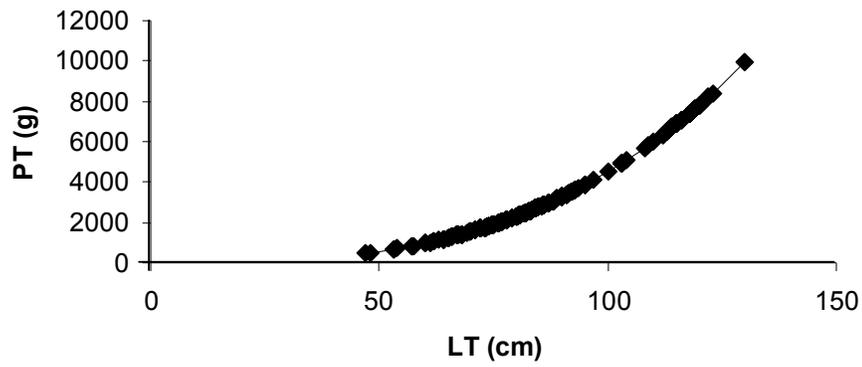
Donde VCMS (valor calórico promedio de la muestra seca expresados en kcal/g); DS (desviación estándar); H %(porcentaje de humedad contenida en la muestra); C % (porcentaje de cenizas contenida en la muestra); VCMF (valor calórico promedio de la muestra fresca); VCLC (valor calórico promedio libre de cenizas).

## 4.2. Almacenamiento energético total (AET)

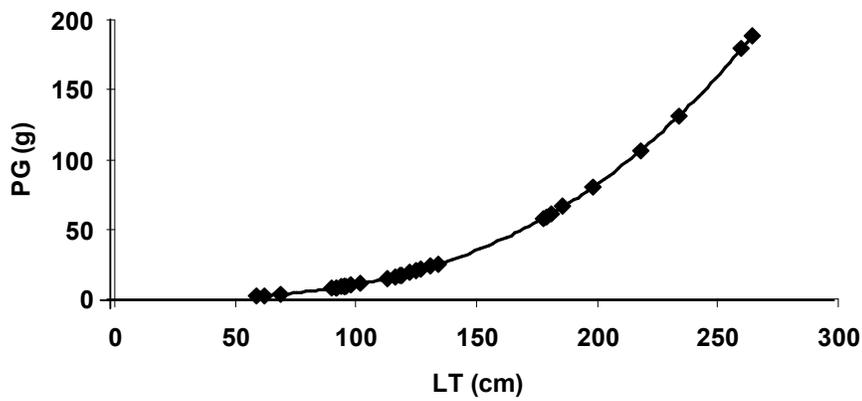
Las relaciones PT-LT y PT-PG mostraron un crecimiento que se puede describir mediante funciones isométricas para el peso total ( $PT = 0.00452 LT^3$ ,  $P = 0.05$ ; Fig. 27-a) y el peso gonadal ( $PG = 1.11765E-05 LT^{2.98}$ ,  $P = 0.002$ ; Fig. 27-b), mientras que para el peso del hígado la relación se ajustó a una función de tipo alométrica ( $PH = 0.012165483 LT^{2.05}$ ,  $P = 0.002$ ; Fig. 27-c).

Los valores del almacenamiento energético en los tejidos del tiburón martillo se presentan en la tabla 17. En el tejido muscular el mayor almacenamiento de energía se encontró en enero y febrero, así como de mayo a agosto; en el tejido hepático de marzo a mayo, mientras que en el tejido gonádico la mayor concentración de energía se presentó en el mes de mayo y julio. El patrón de almacenamiento energético total (AET) mostró que el almacenamiento de energía fue mayor en el mes de marzo (Tabla 17). La prueba de medias *t-student* indican que existen diferencias significativas en el almacenamiento energético total por meses del tiburón martillo *Sphyrna lewini* ( $P < 0.0001$ ), siendo marzo (con mayor almacenamiento energético) y agosto (con menor energía almacenada) los más diferentes.

a)



b)



c)

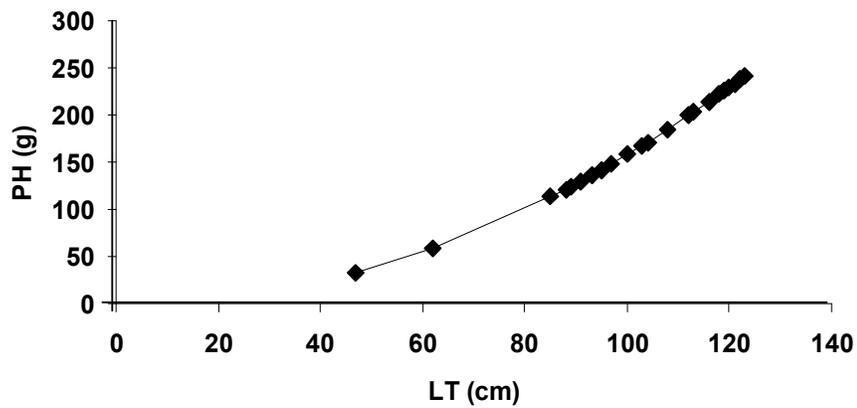


Figura 27. Relaciones lineales de la longitud total (LT) del tiburón martillo para estimar: a) el peso total (PT) en gramos de cada tiburón; b) de gónadas (PG); c) e hígado (PH).

Tabla 17. Almacenamiento energético total (AET) expresado en kilocalorías del tiburón martillo *Sphyrna lewini* en el Golfo de Tehuantepec, durante 2006.

<i>Meses</i>	<i>AEH</i>	<i>AEG</i>	<i>AEM</i>	<i>AET</i>
ENERO	14509.01	4201.62	20063.70	38774.33
FEBRERO	15316.93	4098.25	16010.50	35425.68
MARZO	32302.60	3830.40	8706.58	44839.58
ABRIL	31620.78	3011.04	4494.92	39126.74
MAYO	17766.24	5514.47	10822.85	34103.56
JUNIO	10632.33	3519.73	16555.25	30707.31
JULIO	15670.26	6699.73	10914.22	33284.21
AGOSTO	13988.05	1730.71	13461.14	29179.89
<i>Promedio</i>	<i>18975.78</i>	<i>4075.74</i>	<i>12628.65</i>	<i>35680.16</i>

Donde AEH (Almacenamiento energético del hígado), AEG (Almacenamiento energético de la gónada), AEM (Almacenamiento energético del músculo).

#### 4.3. Contenido energético de la dieta

De las 18 especies de presa identificadas en la dieta, se seleccionaron las ocho dominantes para realizar los análisis calóricos, así como los porcentajes de humedad y ceniza. Los resultados se presentan en la Tabla 18, donde el calamar (*Lolliguncula* spp.) registró el valor de energía más alto, seguido por *Selene peruviana* y *Auxis thazard*; el resto de las presas presentaron valores menores a las 4.50 kcal/g.

Tabla 18. Determinaciones calorimétricas, de las presas principales contenidas en la dieta del tiburón martillo *Sphyrna lewini* en el Golfo de Tehuantepec, durante 2006.

Presas	VCMS kcal/g	DS	H %	C %	VCMF kcal/g	DS	VCLC kcal/g	DS
<b>Cefalópodos</b>								
Calamar ( <i>Lolliguncula</i> spp.)	5.55	0.12	69.43	5.54	4.13	2.47	5.57	0.11
<b>Crustáceos</b>								
<i>Litopenaeus vannamei</i>	4.05	0.22	72.32	1.60	3.12	0.14	4.12	0.51
<b>Peces</b>								
<i>Auxis thazard</i>	4.56	0.10	76.87	3.53	3.44	0.02	4.77	0.08
<i>Canthidermis maculatus</i>	4.47	0.05	58.48	8.35	3.61	1.53	4.55	0.11
<i>Caranx caballus</i>	4.27	0.19	72.40	4.74	3.23	1.62	4.28	0.21
<i>Selene peruviana</i>	4.80	0.15	71.07	5.12	3.39	0.05	4.89	0.17
<i>Oxyphorramphus micropterus</i>	4.09	0.11	68.38	5.81	3.13	0.13	4.18	0.47
<i>Remora remora</i>	3.87	0.04	71.23	0.70	2.11	0.16	3.91	0.56
<b>PROMEDIO</b>	4.46	0.12	69.75	4.63	2.15	0.76	4.53	0.28

Donde VCMS (valor calórico promedio de la muestra seca expresados en kcal/g); DS (desviación estándar); H % (porcentaje de humedad contenida en la muestra); C % (porcentaje de cenizas contenida en la muestra); VCMF (valor calórico promedio de la muestra fresca); VCLC (valor calórico promedio libre de cenizas).

A partir del método gravimétrico se obtuvo que la biomasa relativa consumida por un total de 88 tiburones martillo fue de 1 395 g, multiplicando este valor por el promedio de los valores energéticos del alimento consumido (2.14 kcal/g de peso fresco), se determinó que el tiburón martillo consumió un total de 2 993 kcal. El espectro trófico energético (ETE), señaló que la caballa *Auxis thazard* fue la presa más importante en la dieta del tiburón martillo *Sphyrna lewini*; seguido por *Oxyphorramphus micropterus* y el camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Tabla 19).

Tabla 19. Espectro trófico energético de las principales presas contenidas en la dieta del tiburón martillo *Sphyrna lewini* en el Golfo de Tehuantepec, durante 2006.

Presas	VCMF cal/g	B (g)	ETE
<i>Selene peruviana</i>	1388.63	64.46	89,511.25
<i>Caranx caballus</i>	3231.58	70.75	228,634.17
<i>Lolliguncula</i> spp.	4134.65	5.00	20673.25
<i>Litopenaeus vannamei</i>	1116.29	108.99	121,664.05
<i>Oxyphorramphus micropterus</i>	1132.89	251.66	285,102.06
<i>Auxis thazard</i>	1442.24	479.48	691,526.42
<i>Remora remora</i>	1112.31	6.31	7,018.65
<i>Canthidermis maculatus</i>	3608.01	65.09	234,845.32

Donde VCMF (valor calórico promedio de la muestra fresca expresados en cal/g); B (g) (Biomasa de la presa a partir de la dieta expresados en gramos de peso fresco); ETE (Espectro trófico energético cal/g de peso fresco).

### 5. **Imágenes de satélite y energética del tiburón martillo**

Utilizando el sensor MODIS, se obtuvieron imágenes satelitales y los promedios mensuales de temperatura superficial del mar (TSM) durante el año 2006 y del área adyacente al sitio de pesca de tiburón martillo (GPS: 15°57'86" latitud norte; 95°25'12" longitud oeste). Entre enero y agosto se obtuvo un promedio anual de  $28.5 \pm 1.41$  °C, aunque en los primeros meses del año se registraron las temperaturas más bajas (Fig. 28). En enero y febrero no se observan cambios importantes en los promedios mensuales; pero a partir de marzo hay un cambio gradual, y en junio y agosto se registraron temperaturas mayores a 30 °C.

En la región del Golfo de Tehuantepec las concentraciones de clorofila *a* durante el año 2006 mostraron variación, siendo en los primeros meses cuando se observaron los valores más altos, especialmente en febrero ( $2.46 \text{ mg m}^{-3}$ ;

Fig. 29). En agosto se registró el promedio de clorofila más bajo, de  $0.25 \text{ mg m}^{-3}$ , y el promedio anual de clorofila *a* fue de  $1.24 \pm 0.87 \text{ mg m}^{-3}$ .

Los resultados de la regresión múltiple indican que no hay una relación significativa en los valores de almacenamiento energético total (AET) en el tiburón martillo con respecto a los valores de temperatura superficial del mar (TSM) y concentración de clorofila *a* (CHLO) provenientes de las imágenes satelitales (Tabla 20). Asimismo se observa que hay un retraso en la respuesta biológica de los tiburones con respecto a los cambios en los factores ambientales, teniéndose mayor almacenamiento energético cuando ha sucedido un aumento de las concentraciones de clorofila *a* y una disminución en la temperatura superficial del mar (Fig. 30).

Tabla 20. Estadísticos de la regresión múltiple:  $R = 0.33$ ;  $R^2 = 0.11$ ;  $F(2,6) = 0.37$ ;  $p < 0.70$ ; error estándar = 2.34.

N = 9	Beta	Error típico de Beta	B	Error típico de B	Estadístico t (17)	p-valor
Intercepto			107.24	46.59	2.30	0.06
TSM ( $^{\circ}\text{C}$ )	-0.47	1.07	-0.66	1.52	-0.43	0.67
Clorofila ( $\text{mg/m}^3$ )	-0.15	1.07	-0.43	3.13	-0.14	0.89

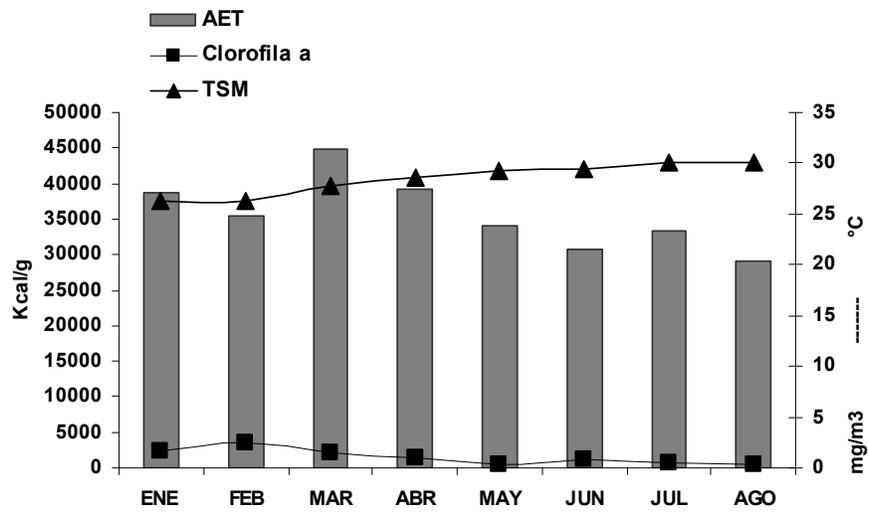


Figura 30. Relación del Almacenamiento Energético Total (AET) en el tiburón martillo con clorofila a (mg/m<sup>3</sup>) y temperatura superficial del mar (°C).

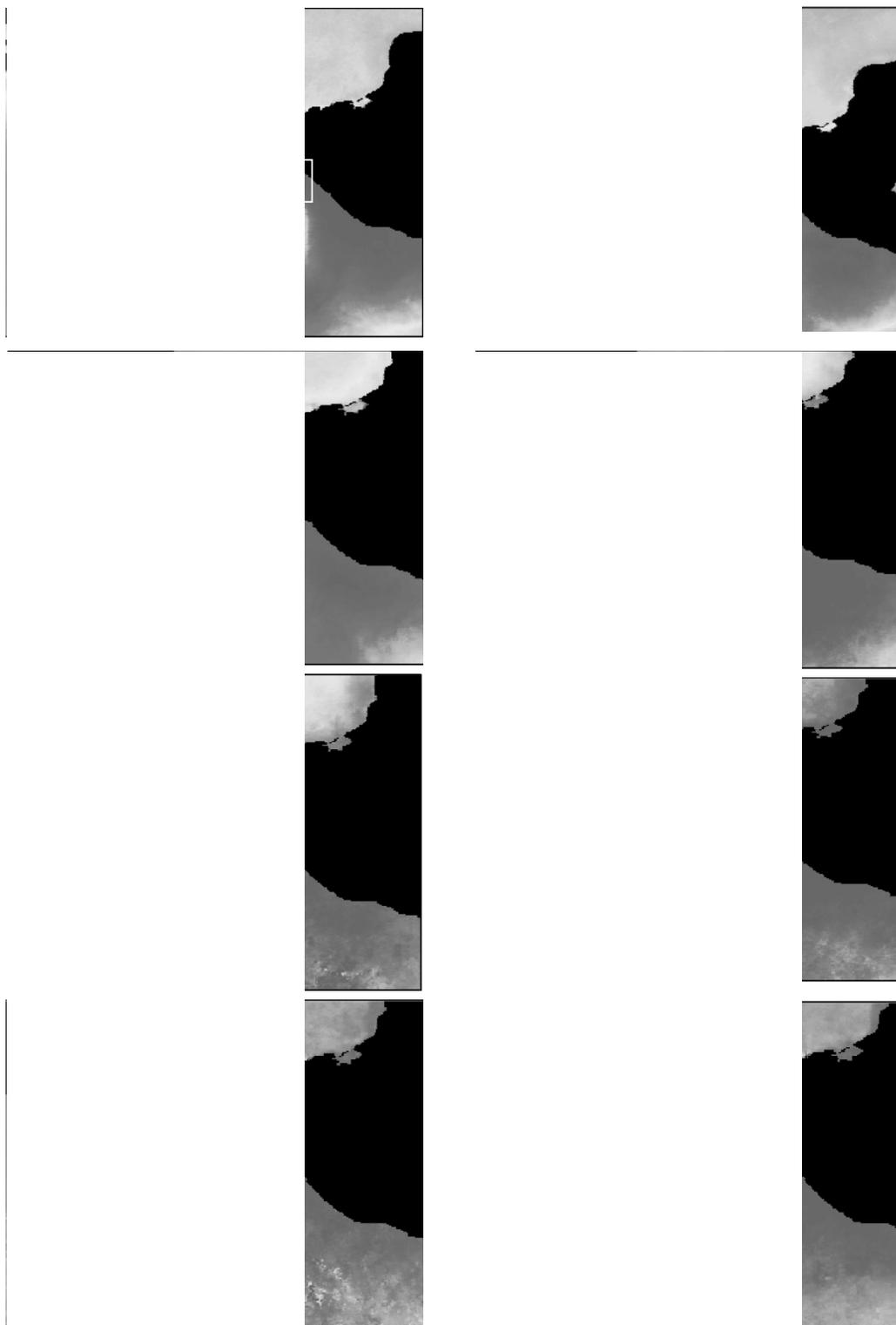


Figura 28. Imágenes de Satélite de las concentraciones de *Temperatura superficial del mar (TSM)* en la región del Golfo de Tehuantepec (MODIS). Resolución 4.6 km. El recuadro indica el área adyacente al sitio de pesca de tiburón martillo dentro del Golfo de Tehuantepec.



Figura 29. Imágenes de Satélite de las concentraciones mensuales de *Clorofila a* en la región del Golfo de Tehuantepec (MODIS). Resolución 4.6 km. El recuadro indica el área adyacente al sitio de pesca de tiburón martillo dentro del Golfo de Tehuantepec.

## 6. Parámetros ambientales y CPUE del tiburón martillo *Sphyrna lewini* en la región del Golfo de Tehuantepec

### 6.1. Estacionalidad en el muestreo

Durante los tres años de muestreo se registró un total de 574 tiburones martillo *Sphyrna lewini*, de los cuales el 52% fueron capturados con cimbra y 48% con red de enmalle (Fig. 31).

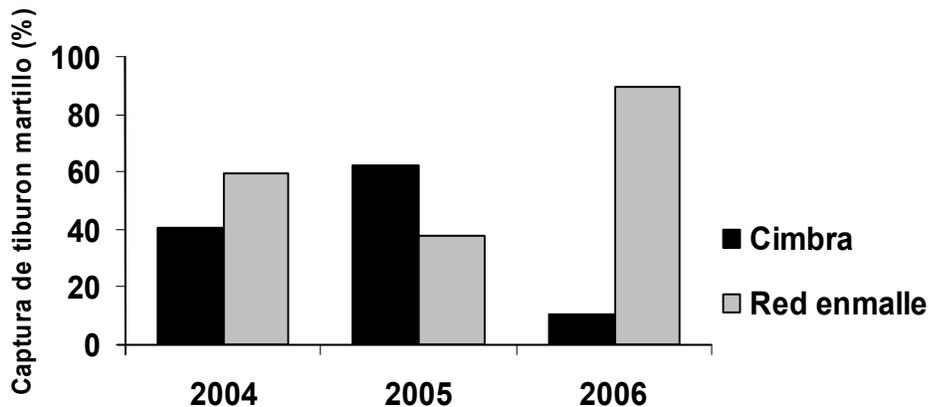


Figura 31. Porcentaje de capturas del tiburón martillo con base en el arte de pesca de los tres años de estudio.

En la figura 32 se presenta la estacionalidad en el muestreo para los tres años de estudio. En el año 2004, el número de tiburones martillo registrados fue de 49 individuos, correspondientes a los meses de septiembre a diciembre. Para el 2005 (437 individuos capturados) se realizaron recolectas entre enero y septiembre, siendo en los meses de mayo, junio y julio cuando se registraron las mayores capturas. En el año 2006 se obtuvo una captura de 88 tiburones, entre enero y agosto, siendo los meses de mayo, junio y julio cuando se registró el mayor número de muestras.

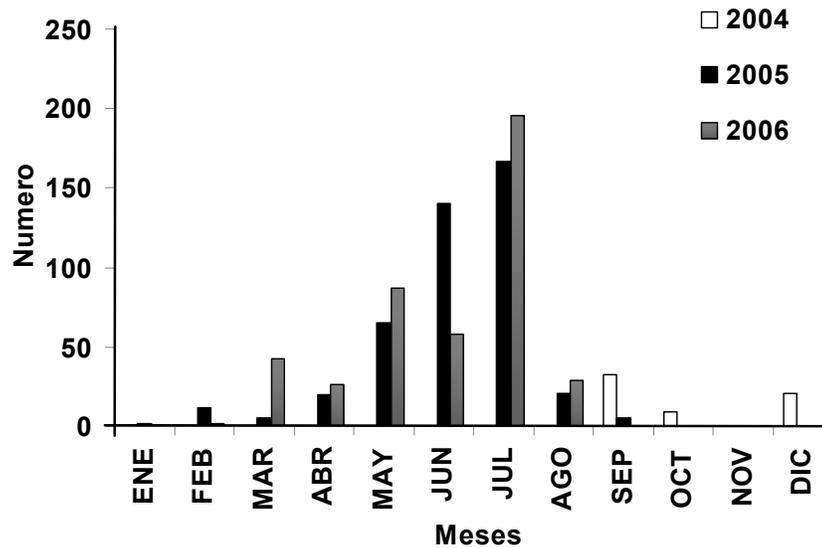


Figura 32. Estacionalidad en la captura del tiburón martillo *Sphyrna lewini* durante 2004, 2005 y 2006, en el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca.

## 6.2. Abundancia en las capturas

Se graficaron los promedios mensuales de los parámetros ambientales para los tres años de estudio, encontrándose que en los meses fríos (noviembre a abril) aunque aumenta la intensidad del viento, su relación con el incremento en las concentraciones de clorofila *a* no es significativa ( $R = 0.24$ ;  $P < 0.05$ ) (Fig. 33). Con la temperatura superficial del mar (TSM) el efecto es opuesto, detectándose picos de concentración de clorofila *a* cuando se tienen los valores de TSM más bajos y la relación es significativa ( $R = -0.68$ ;  $P < 0.05$ ) (Fig. 34). La CPDP (captura/día de pesca) del tiburón martillo *Sphyrna lewini* durante 2004, 2005 y 2006 presentó un patrón de ascenso conforme se incrementa la TSM ( $R = 0.39$ ;  $P < 0.05$ ) (Fig. 35).

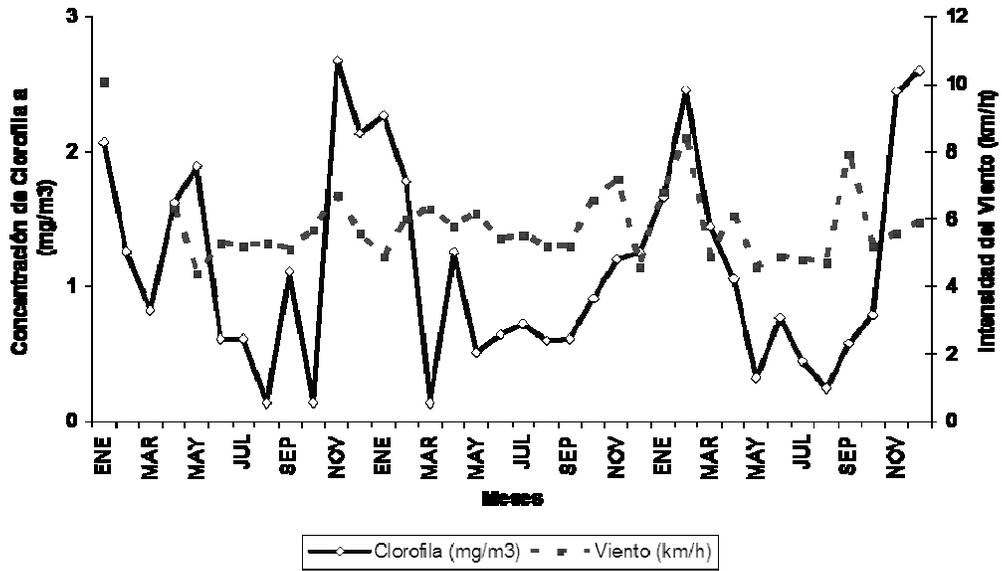


Figura 33. Relación de la intensidad del viento (km/h) y las concentraciones de Clorofila a en el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca.

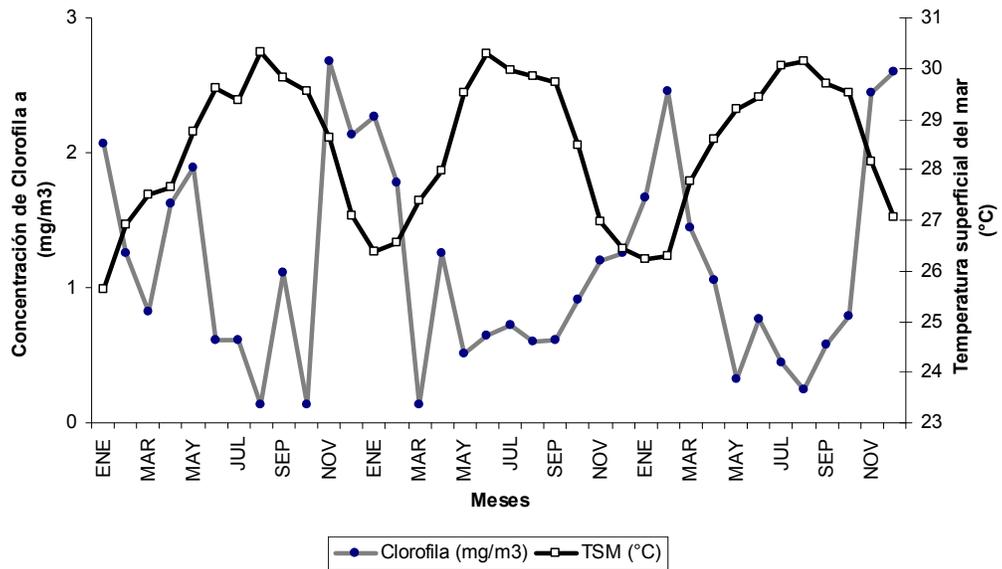


Figura 34. Relación de la temperatura superficial del mar (°C) y las concentraciones de Clorofila a en el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca.

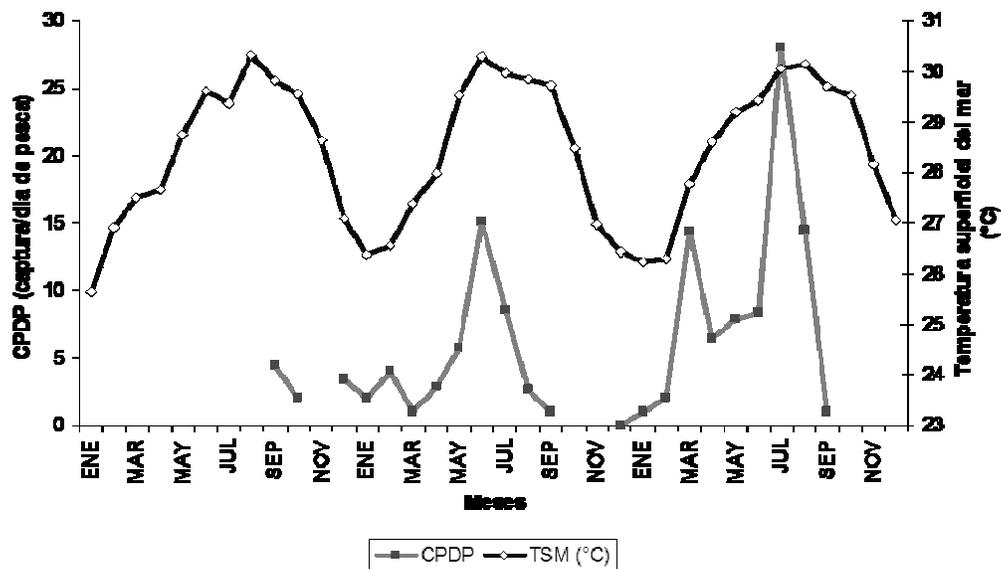


Figura 35. Relación de la temperatura superficial del mar (°C) y la captura por día de trabajo (CPDP) del tiburón martillo *Sphyrna lewini*, en el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca.

Sin embargo, el análisis de regresión múltiple indicó que la relación entre la CPUE (definiéndose como captura por días de trabajo) del tiburón martillo con la temperatura superficial del mar no fue significativa, indicando que no se puede predecir la captura de tiburón martillo (CPUE) con ninguno de los factores ambientales (Tabla 21).

Tabla 21. Estadísticos de la regresión múltiple:  $R = 0.5$ ;  $R^2 = 0.3$ ;  $R^2$  ajustada = 0.1;  $F(3,17) = 2.5$ ;  $p < 0.08$ ; error estándar = 6.04.

N = 21	Beta	Error típico de Beta	B	Error típico de B	Estadístico t (17)	p-valor
Intercepto			-36.60	51.26	-0.71	0.48
Clorofila (mg/m <sup>3</sup> )	0.16	0.33	1.58	3.16	0.50	0.62
TSM (°C)	0.42	0.34	1.93	1.60	1.20	0.24
Viento (Km/h)	-0.36	0.21	-2.45	1.46	-1.67	0.11

## IX. DISCUSIÓN

Se han utilizado diversos métodos para expresar cuantitativamente la importancia de las presas que consume un depredador, entre estos los métodos más frecuentes en la literatura son: el porcentaje numérico (%N), peso (%P), frecuencia de aparición (%FA) e índice de importancia relativa (%IIR) (Cailliet *et al.*, 1986; Liao *et al.*, 2001).

Cada uno de los métodos aplicados en la descripción de la dieta de peces proporciona diferente información sobre los hábitos alimenticios de los depredadores (MacDonald y Green, 1983; Cailliet *et al.*, 1986; Cortes, 1997,1998; Hansson, 1998) dependiendo principalmente del tipo y tamaño de la presa, así como de su estado de digestión (Liao *et al.*, 2001).

En el presente estudio la descripción de la dieta del tiburón martillo *Sphyrna lewini*, basado en el peso (%P), reflejó el valor nutricional de las presas (Macdonald y Green, 1983), y resaltó la importancia de presas grandes como el barrilete negro *Euthynnus lineatus*, la caballa *Auxis* spp. y el dorado *Coryphaena* spp. (Fig. 11). Asimismo, la abundancia numérica (%N) permitió observar que las especies pequeñas, como el calamar *Mastigoteuthis dentata*, los peces *Chloroscombrus orqueta* y *Oxyporhamphus micropterus*, así como el camarón *Litopenaeus vannamei* (Fig. 12), se constituyeron como las especies presa más importantes en la dieta. Además con este método (N%) se obtuvo información relacionada con el comportamiento alimenticio del tiburón (Cortes, 1997) ya que indica el proceso denso-dependiente de las presas (Macdonald y Green, 1983).

Con la aplicación de la frecuencia de aparición (%FA), se registró la disponibilidad de presas en el ecosistema (Macdonald y Green, 1983), ya que mediante este método se obtuvo que las presas más accesibles y disponibles para el tiburón martillo en el Golfo de Tehuantepec, fueron *Auxis* spp., *M. dentata* y *L. vannamei* (Fig. 13).

A partir de la combinación de los resultados obtenidos con cada uno de los métodos tradicionales antes mencionados, se estimó el índice de importancia relativa (%IIR), con el cual se considera se obtuvo una aproximación más apropiada de la importancia de las presas y la contribución de las mismas a la nutrición de la población del depredador (Liao *et al.*, 2001). Con el IIR, las presas *Auxis* spp., el calamar *M. dentata* y el camarón blanco *L. vannamei* fueron los componentes tróficos más importantes de la dieta del tiburón martillo en el Golfo de Tehuantepec (Fig 13), lo cual puede ser debido a su abundancia y disponibilidad en la zona.

De las presas encontradas en la dieta del tiburón martillo, el *Auxis* spp., no es una de las especies de peces de alto valor comercial en la pesquería ribereña del Golfo de Tehuantepec (SAGARPA, 2004-2006); sin embargo es una especie consumida por otros depredadores pelágicos como el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) (Altamirano y Cerdanars *et al.*, 2004) y el dorado (*Coryphaena hippurus*) (Alejo-Plata *et al.*, 2003), lo cual señala su gran abundancia en la zona de estudio. Los cefalópodos (*Lolliguncula* spp.), son frecuentes y abundantes en la región y se capturan como fauna acompañante en las pesquerías costeras de arrastre dirigidas a camarones y peces

demersales (Gamboa-Contreras y Tapia-García, 1998; Tapia-García, 1998). Asimismo, el camarón blanco *L. vannamei*, constituye más del 80% de las capturas de camarón que se obtienen en el Golfo de Tehuantepec, lo que la hace ser la especie de camarón más abundante (Ramos-Cruz y Ramos-Santiago, 2006) para la región.

A pesar de que algunos autores señalan la redundancia en la aplicación de métodos combinados (%IIR) y de un solo componente (%N, %P, %FA) (Macdonald y Green, 1983; Cortes, 1997-1998; Hansson, 1997), la utilización de estos métodos en el presente estudio dio consistencia en la descripción general de la dieta del tiburón martillo. Estos resultados son comparables con otros estudios sobre los hábitos alimenticios de tiburones martillo en diferentes latitudes del Pacífico mexicano.

En el presente estudio la dieta del tiburón martillo en el Golfo de Tehuantepec se conformó por peces, cefalópodos y crustáceos. Estos grupos de presas también han sido registrados en otros estudios realizados en esta especie, incluyendo el Golfo de California, México (Klimley, 1983; Galván-Magaña *et al.*, 1989; Aguilar-Castro, 2003, Torres-Rojas, 2006), Hawaii (Clarke, 1971; Bush, 2003), Sudáfrica (Smale y Cliff, 1998; Bruyn *et al.*, 2005) y Brasil (Vaske-Júnior *et al.*, 2009). Sin embargo, la composición de las especies difiere, ya que, por ejemplo en la costa oeste del Golfo de California (Bahía de La Paz), el tiburón martillo se alimentó de peces (65% de IIR), como *Scomber japonicus*, *E. lineatus*, familia Mullidae, así como de cefalópodos (30%) como *Octopus spp.*, *Vampyroteuthis infernalis* e *Histioteuthis heteropsis* (Galván-

Magaña *et al.*, 1989). Sin embargo, en la costa este del Golfo de California (Mazatlán), esta especie consumió principalmente del cefalópodo *Loliolopsis diomedea* y peces de la familia Carangidae, Gerreidae y Sciaenidae (Torres-Rojas, 2006).

En los estudios realizados en otras regiones, la dieta de juveniles de tiburón martillo en Bahía Kane`ohe, O`ahu, Hawaii, se alimentaron de crustáceos (62%) y peces (32%) (Clarke, 1971; Bush, 2003). Bush (2003) señaló que el tiburón martillo presentó una conducta de tipo oportunista ya que consume presas pequeñas que son abundantes y están disponibles, tales como el camarón *Alpheus malabaricus*, que fue la especie más importante (36% de IIR); mientras que Clarke (1971) reportó que esta especie se alimentó de especies de peces de la familia Gobidae y Scaridae.

En Sudáfrica, Smale y Cliff (1998), observaron que los tiburones martillo consumieron principalmente cefalópodos oceánicos, presentando una variación en el tipo de presas conforme el tiburón aumenta de talla, así los tiburones pequeños se alimentaron de pulpos (Familia Octopoda) y los adultos de calamares (*Ancistrocheirus* spp. y *Mastigoteuthis* spp.); mientras que Bruyn *et al.* (2005), registraron para la misma zona una dieta diferente para este tiburón ya que en este caso consumieron peces de la familia Trichiuridae, Pomadasyidae y Sparidae, así como de cefalópodos costeros y tiburones de la familia Scyliorhinidae.

En el noroeste de Brasil, los peces arrecifales y pelágicos, así como los cefalópodos fueron las presas más importantes en la dieta del tiburón martillo, lo que indicó que este depredador se mueve entre aguas someras y profundas, así como en zonas con altas concentraciones de biodiversidad como son las montañas submarinas (Vaske-Junior *et al.*, 2009).

De los cambios de dieta asociados a la ontogenia en peces, la segregación por estadio de madurez es muy común en tiburones, lo cual está relacionado a su tamaño corporal (tiburones grandes se alimentan de presas grandes), a cambios en el uso del hábitat (varía con la talla del tiburón) y a cambios en la captura y manipulación de las presas (los tiburones grandes pueden ser cazadores más eficientes) (Lowe *et al.*, 1996; Wetherbee *et al.*, 1996; Smale y Cliff, 1998; Lucifora, 2003).

En el presente estudio el tiburón martillo mostró variaciones en la dieta en relación al estadio de madurez. En la dieta de juveniles, la especie presa más importante fue *M. dentata*, el cual es un calamar pequeño de 72 mm longitud de manto (Hoyle, 1904); asimismo, presentó una menor incidencia de presas bentónicas y demersales. Clarke (1971) y Klimley *et al.* (1993) reportaron que la menor destreza y capacidad que tienen los juveniles en la búsqueda del alimento, permite que su hábitat se encuentre cerca de la costa.

Sin embargo, los juveniles también pueden seleccionar presas que son abundantes y fáciles de consumir (Aguilar, 2003; Torres-Huerta, 2004), como es el caso de los calamares. Es importante considerar que los juveniles de

tiburón martillo podrían estar realizando migraciones hacia áreas oceánicas, tal y como lo hacen los adultos durante la noche (Klimley *et al.*, 1993; Smale y Cliff, 1998) para alimentarse de las especies de calamar que realizan migraciones verticales como el calamar *M. dentata*, el cual se agrupa cerca del fondo durante el día y se dispersa durante la noche en la columna de agua (Vecchione *et al.*, 2007), lo que lo hace vulnerable a los depredadores pelágicos (Smale y Cliff, 1998).

Mientras que los tiburones adultos utilizan la visión y la electrorecepción para detectar y seleccionar su alimento (Smale y Cliff, 1998), por lo que se alimentan de presas de mayor tamaño, incluidos los peces con alto contenido energético como *Auxis* spp., barrilete negro *Euthynnus lineatus* y el dorado *Coryphaena* spp., de manera que la relación costo-beneficio sea la más favorable desde el punto de vista energético (Gerking, 1994; Tabla 5, 6 y 7).

En el presente estudio, los análisis calorimétricos mostraron que *Auxis* spp. contiene 4.56 kcal/g (Tabla 18), cuyo valor es ligeramente más bajo que el encontrado en la literatura, posiblemente por el proceso de degradación de la presa dentro del estómago del tiburón. El valor calórico promedio registrado en la literatura para *Auxis* spp. fue de 5.17 kcal/g, para el barrilete negro de 5.05 kcal/g y el dorado de 5.12 kcal/g (Cauffopé y Heymans, 2005).

En Hawaii, el tiburón martillo se alimenta principalmente del camarón *Alpheus malabaricus*, especie bentónica muy abundante en la zona (Lowe, 2002; Bush, 2003; Duncan, 2006), el cual tiene bajo contenido energético (0.83

kcal/g; Duncan, 2006), por lo que los tiburones martillo juveniles requieren consumir grandes cantidades de esta presa para cubrir sus requerimientos diarios (Lowe, 2002).

En el análisis de agrupamiento en función de la dieta del tiburón martillo, se observó que la mayor similitud entre dietas fue en los años 2005 y 2006 (Fig. 16), lo que indicó que en estos años la dieta fue más homogénea con respecto al año 2004. Asimismo el promedio anual de biomasa que se aportó a la dieta del tiburón martillo en el 2005 (56,085 g de peso fresco) y 2006 (1,395 g de peso fresco) fue mucho mayor con respecto al 2004 (115 g de peso fresco); por lo tanto el promedio de kilocalorías consumidas por este depredador difiere entre años, siendo el promedio más alto en el 2005 (275 kcal) y 2006 (34 kcal), que en el 2004 (5 kcal).

El agrupamiento por estado de madurez separó dos grupos principales (2005 y 2006) (Fig. 17), señalando que se dio una reincidencia en el consumo de presas durante ambos años. Sin embargo, el año 2004 se separa del año 2005 y 2006 por la mayor presencia de tiburones juveniles hembras y machos, con similitud en la dieta. Los resultados del agrupamiento ayudaron concluir que hembras y machos adultos como juveniles del tiburón martillo posiblemente estén regresando a la misma zona en busca de alimento, en este caso el Golfo de Tehuantepec.

Se ha observado que el tiburón martillo forma cardúmenes, los cuales están compuestas por individuos de varias tallas y ambos sexos (Klimley y

Nelson, 1981) y nadan alrededor de montañas submarinas tanto en el Golfo de California (Klimley, 1981; Klimley y Nelson, 1981) como en el noroeste de Brasil (Vaske-Júnior *et al.*, 2009). Sin embargo, la función de estas agrupaciones aun no esta bien determinada, pero podría ser por reproducción, defensa o eficiencia en el nado o alimentación (Klimley, 1981).

Las montañas submarinas son áreas de alta concentración de biodiversidad (Vaske-Júnior *et al.*, 2009) y en las cuales se asocian los tiburones martillo; sin embargo en el Golfo de Tehuantepec no hay montañas submarinas, pero es una zona de alta productividad donde se encuentran pesquerías de especies pelágicas como el atún, la sardina y anchoveta (Ayala-Duval *et al.*, 1998). Por lo que la presencia de tiburones martillo de ambos sexos y estadio de madurez en esta zona, podría ser debido a la alta disponibilidad de recursos alimenticios, o al comportamiento reproductivo del tiburón. En esta zona se ha observado que las hembras grávidas son atraídas a la costa por la accesibilidad del alimento, y junto a neonatos y juveniles permanecen en la misma área formando grupos, siendo susceptibles a la pesca (Alejo-Plata *et al.*, 2007).

En el análisis interanual de la dieta se encontraron diferencias por estadio de madurez y por sexo (Tabla 8). En 2004 el tiburón martillo consumió principalmente *Auxis* spp.; mientras que en 2005 dominó el calamar *M. dentata*, y para 2006 fue el camarón blanco *L. vannamei*. El análisis de similitud indicó que *Auxis* spp. y *Mastigoteuthis dentata* fueron los componentes alimenticios presentes en casi todos los contenidos estomacales, por lo que se consideran

las especies presa más importantes en la dieta del tiburón martillo, las cuales son abundantes en el Golfo de Tehuantepec (Gamboa-Contreras y Tapia-García, 1998; Tapia-García, 1998; SAGARPA, 2004-2006) y de fácil acceso para este depredador.

Las diferencias en la composición trófica por estadio de madurez y por sexo del tiburón martillo, podría ser debido al tamaño de la presa y a la selectividad del tiburón (Wahbeh y Ajiad 1985), lo cual está relacionado con los gradientes de adquisición y utilización de la energía. Se ha observado que la riqueza de especies presa disminuye con el crecimiento del depredador, ya que inician el consumo de presas de mayor tamaño y en consecuencia, el número de presas y componentes tróficos en la dieta disminuye (Aguirre y Sánchez, 2005).

En el presente estudio el tiburón martillo presentó cambios ontogénicos en los hábitos alimenticios, debido a que el tiburón martillo va consumiendo presas más grandes, debido a los mayores requerimientos de energía (Gerking, 1994).

Con respecto a las diferencias en la dieta dependiendo el sexo, los tiburones machos se alimentaron en mayor proporción del calamar *M. dentata* y *Auxis* spp. (Tabla 11), presas que fueron menos importantes en las hembras. La presencia de presas comunes con diferente abundancia en la dieta corrobora que no existe una segregación por sexos de la especie en el Golfo de Tehuantepec

En relación a la alimentación de las hembras grávidas, Polo-Silva *et al.* (2007) observó que en este estado las hembras aumentan en peso corporal lo cual les resta capacidad para cazar presas rápidas como los calamares, prefiriendo capturar presas menos ágiles y que formen cardúmenes. En el presente estudio se registraron pocas hembras grávidas con alimento, al respecto se ha señalado que este hecho contradice lo encontrado por otros autores, quienes determinan que las hembras grávidas no se alimentan, ya que almacenan energía para esta fase y prefieren evitar los riesgos y el gasto energético que conlleva la caza (Polo-Silva *et al.*, 2007).

En los tres años de estudio, el tiburón martillo *Sphyrna lewini* se alimentó de una variedad de tipos y tamaños de presas en el Golfo de Tehuantepec, por lo que puede considerarse como una zona de alimentación importante para este depredador. Sin embargo, la abundancia acumulativa (suma de las abundancias registradas) de las especies presa, indica que en el año 2004 se registró una mayor dominancia de algunas presas, principalmente pelágicas (96%; Fig. 14), complementada por pocas especies bentónicas. Para 2005 y 2006 (Fig. 17), las presas pelágicas siguieron dominando en la dieta, pero se registró un alto porcentaje de especies bentónicas y demersales (Fig. 14), por lo cual la dieta en el 2005 y 2006 fue más diversa que en 2004.

La dominancia de presas pelágicas (p.ej. *Auxis* spp., y el calamar *M. dentata*) en el 2004 podría ser debido al incremento de la productividad primaria en esta zona, permitiendo la mayor concentración de presas (Toline y Baker, 1993). En el Golfo de Tehuantepec las tasas de producción primaria van

de 197 a 1426.4 mg C/m<sup>2</sup>día (Robles Jarero y Lara Lara, 1993) y al menos en la época de nortes, esta región actúa como una bomba de nutrientes y carbono fitoplanctónico, enriqueciendo las aguas adyacentes en el Pacífico Oriental Tropical (Lara-Lara *et al.*, 1998). Sin embargo, no se tiene evidencia de que en 2004 haya sido un año especial con respecto a las variaciones en las concentraciones de clorofila *a*. Las variaciones que se observan en la producción primaria suceden por efecto de la surgencia eólica en el Golfo de Tehuantepec, permitiendo un aumento en la clorofila *a* de hasta 2 mg m<sup>-3</sup>, la cual se extiende varios kilómetros mar adentro (Aguirre-Gómez y Salmerón-García, 2007).

En el 2005 y 2006, se observó una menor dominancia de presas, debido al mayor intervalo de tamaños del tiburón y tipos de presas, lo cual ocasionó variaciones en la amplitud trófica (Toline y Baker, 1993). Esto significa que todos los individuos de la población compartieron de forma similar el nicho trófico, sin llegar a considerar un grado de especialización (Encina *et al.*, 1999). Los tiburones martillo registrados en 2005 y 2006, explotaron recursos similares, variando la proporción de los mismos en función de su abundancia en la zona. Las presas pelágicas más importantes fueron: *M. dentata*, *Auxis* spp., *Corhyphaena* spp., *Oxyporhamphus micropterus* y *E. lineatus*; mientras que las bentónicas y demersales fueron: *Litopenaeus vannamei* y *Gymnothorax* spp.

Con base en el estadio de madurez del tiburón, se registró una menor diferencia en la dominancia de especies presa entre juveniles y adultos (Fig.

18); mientras que por sexos, la dominancia de especies fue muy similar (Fig. 19). Estas diferencias podrían ser debido a los requerimientos energéticos particulares del tiburón, lo que indica que los tiburones hembras y los juveniles necesitan mayor cantidad de energía para el desarrollo somático y gonadal (Espínola *et al.*, 2008), por lo que su conducta trófica de acuerdo con Aguirre y Sánchez (2005), corresponde a la de un depredador oportunista, con una dieta variada, ya que consumen los recursos de mayor disponibilidad y abundancia, lo que implica un menor gasto energético para la obtención y consumo del alimento.

La amplitud de dieta del tiburón martillo fue variable en los tres años de estudio, tanto por sexo como en estadio de madurez, siendo ligeramente mayor en 2004 y 2006 con respecto al 2005. Al resultar valores menores a 0.6 de amplitud de dieta se considera que, a pesar de explotar recursos similares, la dieta del tiburón martillo incluye el consumo de ciertas categorías alimenticias como *Auxis* spp. y *M. dentata*, especies que forman cardúmenes grandes en la zona de estudio. Asimismo otros valores similares ( $B_i = 0.15$ ) fueron encontrados en la dieta de tiburones martillo juveniles en las costas de Mazatlán, Sinaloa (Torres-Rojas *et al.*, 2007).

Diversos autores han señalado que esta especie de tiburón presenta un espectro trófico restringido (especialista) (Galván-Magaña *et al.*, 1989; Aguilar-Castro, 2003; Torres-Rojas *et al.*, 2007); sin embargo, los hábitos alimenticios del tiburón martillo en el Golfo de Tehuantepec pueden considerarse de tipo oportunista, porque aprovechan un alimento distinto al que generalmente

consume cuando se encuentra en mayores proporciones. En el Golfo de California se ha encontrado que esta especie de tiburón se alimenta de peces pelágicos y calamares mesopelágicos, principalmente sobre especies muy abundantes como la macarela *S. japonicus* y los calamares *D. gigas* (Galván-Magaña *et al.*, 1989; Aguilar-Castro, 2003) y *L. diomedae* (Torres-Rojas, 2006).

De igual manera Bush (2003) coincide al respecto, ya que encontró que los juveniles del tiburón martillo se alimentaron de las especies bentónicas más abundantes en Bahía Kane'ohe, Hawaii, dando como resultado un forrajeo de tipo oportunista sobre un pequeño número de especies presa que están ampliamente disponibles en el medio.

Se ha manejado el supuesto de que la mayoría de los peces son oportunistas (Gerking, 1994); sin embargo se debe tener cuidado de catalogar a una especie, debido a que la conducta puede cambiar dependiendo entre otros factores, a las condiciones ambientales (Gerking, 1994).

Asimismo la dieta de un depredador puede fluctuar en el tiempo, dependiendo de la abundancia y disponibilidad de presas, así una especie especialista puede volverse generalista cuando la fuente principal de alimentación se vuelve escasa (Dill, 1983). Esta variabilidad trófica depende de la flexibilidad en los hábitos alimenticios de un depredador en respuesta a la variabilidad en la disposición de los alimentos (Dill, 1983),

Sobre la dinámica energética de la especie, se encontró que el contenido energético promedio presente en el tejido muscular del tiburón martillo fue de 4.19 kcal/g de peso seco  $\pm$  0.42, fluctuando entre 3.83 kcal/g de peso seco  $\pm$  0.11 y 4.63 kcal/g de peso seco  $\pm$  0.17 (Tabla 14). Por medio del análisis mensual se observaron variaciones en los valores calóricos en el músculo, los cuales se mantuvieron constantes en los meses de enero a mayo, con un aumento en junio y julio, para bajar drásticamente en el mes de agosto (Fig. 24), posiblemente en respuesta a la distribución de energía durante el proceso de maduración de la especie.

Las alteraciones calóricas en los músculos de tiburones machos y hembras durante la maduración gonadal indica un cambio de la energía acumulada durante la época de reproducción de la especie (Espínola *et al.*, 2008). Se esperaba que en mayo y julio (meses con registro de hembras maduras), los valores calóricos en músculo aumenten en los tiburones hembras, ya que estas maduran a tallas mayores que los machos (Bejarano-Álvarez, 2007), por lo que el tamaño de la hembra gestante es mayor y sus requerimientos energéticos son mayores en comparación de la energía requerida por un macho para la producción de espermatozoides y fertilizar los oocitos (Klimley, 1987).

Se observó un aumento en los valores calóricos en junio y julio; sin embargo en estos meses solo se registraron tiburones martillo juveniles, y no se tienen datos sobre los valores calóricos de adultos, en especial de hembras sexualmente maduras (Fig. 2; Anexo I), por lo cual no se puede concluir que las

variaciones calóricas mensuales sean debido al ciclo reproductivo de la especie.

Se ha observado que las variaciones en el almacenamiento de energía en el músculo depende de los cambios estacionales, ontogénicos y el tamaño corporal del organismo (Hurst y Conover, 2003). El aumento de tiburones martillo juveniles en el mes de junio (Fig. 1; Anexo I), corresponde al periodo de alumbramiento y la presencia de juveniles de 1 año (65 a 74 cm de longitud total) de un ciclo reproductivo previo (Alejo-Plata *et al.*, 2007), por lo que las variaciones de energía en músculo de juveniles, puede ser debido al crecimiento somático, ya que conforme va aumentando la masa corporal del organismo, aumenta el contenido de energía del mismo (Biro *et al.*, 2005) Asimismo en este periodo (junio a agosto), se presenta la influencia de los vientos del norte “tehuanos”, los cuales permiten que la producción primaria se incremente por los fenómenos de surgencia (Ayala-Duval *et al.*, 1998), dando como resultado que el hábitat sea favorable y con alimento disponible para el desarrollo somático del tiburón martillo.

De los tejidos analizados del tiburón martillo, el tejido hepático fue el que presentó los valores calóricos más altos (6.68 kcal/g  $\pm$  0.11) (Tabla 15) indicando que es donde se almacena la mayor cantidad de energía. La acumulación de glucógeno (la reserva de la glucosa en los animales) es la fuente principal de energía para el metabolismo celular, por lo que se considera que este tejido es el central en el mantenimiento y limpieza metabólica del organismo (Peña-Díaz *et al.*, 1979).

En el análisis mensual (Tabla 15) del contenido energético en el hígado, los valores calóricos se mantuvieron casi constantes los primeros meses del año, observándose una disminución a partir del mes de mayo, lo cual coincide con el evento reproductivo del tiburón martillo y anticipa el alumbramiento de neonatos en la zona (Alejo-Plata *et al.*, 2006; Alejo-Plata *et al.*, 2007; Bejarano-Álvarez, 2007). Una manera de evaluar el evento reproductivo es mediante el estado de desarrollo de las gónadas, derivado del índice gonadosomático (IG), y la condición del tiburón, que se mide con el índice hepatosomático (IH) (Arellano-Martínez *et al.*, 2001), ya que las variaciones cíclicas en los valores del IH del organismo se deben a fluctuaciones en el contenido de lípidos en el hígado, lo cual está ligado a la vitelogénesis de las hembras y se observa en los valores del IG (Sidders *et al.*, 2005). Sin embargo, en el presente estudio no fue posible calcular estos índices debido al sesgo que causa la estimación de los pesos del tiburón martillo registrados, los cuales fueron obtenidos con base a una relación lineal.

Otro factor que podría influir en la variación del contenido lipídico, son los cambios en la dieta (Sidders *et al.*, 2005). Sin embargo, a pesar de que la dieta del tiburón martillo para el año 2006 tuvo registros de biomasa de presas muy bajas (Fig. 17), la composición trófica se mantuvo casi constante (Fig. 3; Anexo I), a excepción del mes de mayo cuando se observó la disminución en los valores de energía en relación al evento reproductivo.

En relación al tejido gonádico, los kilocalorías por gramo de peso fresco registrado ( $4.87 \text{ kcal/g} \pm 0.32$ ) (Tabla 16), señala que en este tejido se

almacena menor cantidad de energía que en el hígado, pero mayor que en el músculo, lo cual está relacionado al tipo de moléculas (lípidos, carbohidratos, proteínas) presentes en los tejidos. Durante el ciclo reproductivo, la energía en gónadas de hembras aumenta y puede cambiar durante su desarrollo debido a la maduración gonadal; mientras que en los machos, la energía generalmente se mantiene bajo el mismo promedio (Espínola *et al.* 2008).

El tiburón martillo tiene un ciclo reproductivo anual (gestación de 10 meses aproximadamente), la época de apareamiento en el Golfo de Tehuantepec es a finales de julio y principios de agosto, temporada en que el crecimiento de oocitos y el de los embriones sucede de manera simultánea (Bejarano-Álvarez, 2007). Además se observaron adultos con marcas de apareamiento, lo cual hace suponer que luego de la expulsión de las crías, se presenta la copulación y ovulación, dando inicio a un nuevo ciclo reproductivo (Bejarano-Álvarez, 2007).

En el presente estudio los valores más altos de energía en gónadas se presentaron durante los meses de abril y mayo. Lo cual está asociado al desarrollo gonadal, ya que se realiza una transferencia de energía a las gónadas, a partir de las reservas que han sido acumuladas en las vísceras, músculo e hígado (Espínola *et al.* 2008).

Los valores de energía más bajos en gónadas se observaron en el mes de junio, cuando sucede el alumbramiento, por lo que la energía restante se

transfiere al resto del cuerpo, y posiblemente a partir de agosto se inicie de nuevo el periodo de gestación.

Al analizar el contenido calórico del tiburón martillo por sexos para el año 2006, se observó que la energía almacenada en gónadas tanto en hembras como machos se mantiene casi constante, debido a que en este año la mayoría de estos registros fueron de tiburones juveniles. Las variaciones del contenido energético cambian cuando se tienen los registros de hembras adultas en el mes de mayo (Fig. 2; Anexo I).

Con respecto al almacenamiento energético total (AET) en el tiburón martillo (Tabla 21), fue mayor en el mes de marzo, lo cual corresponde al mayor registro de energía encontrado en el hígado (Fig. 25), previo al periodo de alumbramiento, que se presenta en junio y julio (Bejarano-Álvarez, 2007). Se observó también que en el mes de mayo el contenido energético en hígado es bajo y a su vez alto en las gónadas. Montecchia *et al.* (2006), señala que estas variaciones pueden corresponder a un periodo de crecimiento gonadal. Asimismo indica que en algunos periodos del ciclo reproductivo se puede esperar valores bajos de energía en el músculo, lo cual se observó en el presente estudio.

A partir del mes de agosto, el almacenamiento de energía fue menor, indicando un posible periodo de preparación para el siguiente evento reproductivo. En el Golfo de Tehuantepec, el aumento en el almacenamiento de energía en el tiburón martillo, se presentó durante la época de lluvias. En

esta temporada otros autores (Tapia-García y Gutiérrez Díaz, 1998; Alejo-Plata *et al.*, 2006; Alejo-Plata *et al.*, 2007), indican la existencia de un incremento en la temperatura del agua, aunado a una alta disponibilidad de alimento, lo cual favorece al desarrollo de tiburones neonatos y juveniles de tiburón martillo. Los neonatos y juveniles, por su altas tasas de crecimiento, tienen requerimientos diarios de alimento elevados, por lo que tienden a permanecer en zonas protegidas (Clarke, 1971; Bush y Holland, 2002), como el Golfo de Tehuantepec, en donde el alimento es abundante y se encuentra disponible (Tapia-García y Gutiérrez Díaz, 1998), con menor riesgo a ser depredado.

La especie presa que más kilocalorías por gramo de peso fresco aportó a la dieta del tiburón martillo fue el calamar *Lolliguncula* spp., seguido por dos especies de peces *Selene peruviana* y *Auxis thazard* (Tabla 19). Al relacionar el contenido calórico de estas presas con la biomasa registrada mediante el índice gravimétrico (%P), se obtuvo el espectro trófico energético (ETE), el cual se refiere a la cuantificación de la energía total consumida por un depredador (Abitia-Cárdenas *et al.*, 2002).

El espectro trófico energético indica que la presa que más energía contribuyó a la dieta del tiburón martillo fue el escómbrido *Auxis thazard*, seguido por el pez volador *Oxyporampus micropterus*, el camarón blanco *Litopenaeus vannamei* y por último el calamar *Lolliguncula* spp. (Tabla 20).

Durante el año 2006, un tiburón martillo consumió un total de 34 kcal de peso fresco lo cual podría considerarse muy bajo comparado con otras

especies como es el marlín rayado (*Tetrapturus audax*) el cual consume un total de 2200 kcal al año (Abitia-Cárdenas *et al.*, 2002).

Cabe mencionar que el valor del consumo de peso fresco, solo representa la cantidad de alimento fresco que se encontró en el estómago al tiempo de captura y no al total del alimento que es consumido (Abitia-Cárdenas *et al.*, 2002). Por lo que es importante considerar el estado de digestión del mismo, el cual fue de medio a avanzado. Asimismo se debe considerar el llenado del estómago, el cual fue de 25 a 50%.

El tiburón martillo es un depredador que se alimenta principalmente durante la noche (Clarke, 1971; Klimley y Butler, 1988; Klimley *et al.*, 1993; Bush y Holland, 2002) con una tasa de evacuación gástrica rápida (Lowe, 2002), por lo que el bajo consumo de biomasa encontrado en el presente estudio sugiere que la actividad de forrajeo de este depredador esta influenciada por la digestibilidad y contenido energético de las presas disponibles (Olson y Galván, 2002).

Las presas que tienen cuerpos blandos contienen valores bajos de energía (Lowe, 2002; Olson y Galván, 2002), ya que presentan un alto porcentaje de agua y bajo contenido de lípidos (p. ej. camarones y calamares), por lo tanto se digieren y evacuan más rápido que aquellas con alto contenido energético, dado que almacenan gran cantidad de lípidos en su musculatura y vísceras (p. ej. peces) (Tricas, 1979; Gerking, 1994).

Así los elevados contenidos lipídicos de ciertas presas y el tamaño de las mismas (p.ej. túnidos) tienen un efecto retardado en la evacuación gástrica del depredador (Olson y Boggs, 1986; Olson y Galván-Magaña, 2002). En los estómagos del tiburón martillo, se encontró en su mayoría presas (peces) sin escamas e incompletas, señalando un estado de digestión medio (p.ej. *Auxis* spp. *Euthynnus lineatus*, *Coryphaena* spp., etc), así como los aparatos mandibulares (pico) de calamares, que indicaron un estado de digestión avanzado.

Se considera que a diferencia de algunas de las especies demersales o bentónicas, los peces pelágicos tienden a tener un alto contenido en lípidos; sin embargo, algunas especies pelágicas de tallas pequeñas (p. ej. macarelas, caballas, clupeidos), tienden a ser más ricas en lípidos que aquellas especies de gran tamaño (p. ej. barrilete y dorado) (Van Pelt *et al.*, 1997). Como consecuencia y con base en el espectro trófico energético, un depredador como el tiburón martillo exhibe una mayor preferencia por esas presas pelágicas pequeñas (como *Auxis* spp. y *O. micropterus*) cuando están disponibles por su abundancia (Trenkel *et al.*, 2003). Sin embargo, cuando la presa principal no está disponible, o cambia su abundancia, el tiburón martillo puede satisfacer sus requerimientos nutricionales y energéticos consumiendo presas de menor valor energético pero de mayor abundancia (p.ej. camarones y calamares), compensando costo y beneficio para optimizar su propia sobrevivencia y éxito reproductivo (Stephens y Krebs, 1986; Anthony *et al.*, 2000).

Además de la rápida tasa de digestión en el tiburón martillo, el tiempo de captura y levantamiento del arte de pesca usado, influyó en la degradación del alimento por los ácidos gástricos, lo cual se vio reflejado en el estado de digestión de las presas. En la región del Golfo de Tehuantepec, los pescadores salen a pescar cada tercer día por las mañanas, siendo el tiempo estimado para esta actividad de 5 a 7 horas (Bejarano-Álvarez, 2007). Para el tendido de el palangre el tiempo es de una hora y el levantamiento es de 3 horas aproximadamente, el tiempo es variable, dependiendo de la cantidad de organismos que se hayan capturado (Bejarano-Álvarez, 2007). Al quedar atrapados los tiburones en el palangre o la red y permanecer un cierto tiempo (dos días máximo), el proceso de degradación del alimento no se detiene, influyendo en la presencia de presas en estado de digestión avanzado (Preti *et al.*, 2001; Aguilar-Castro, 2003).

Al analizar el ambiente con la dinámica energética del tiburón martillo, se pudo constatar que los valores de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Golfo de Tehuantepec, determinados a partir de las imágenes de satélite durante el año 2006, fueron menores en el mes de enero y estas van en aumento gradualmente hasta el mes de agosto, donde el registro es de 30.7 °C (Fig. 28). Estos valores de temperatura superficial registrados fueron similares a lo reportado por diversos autores (Gallegos-García y Barberán-Falcón, 1998; Lara-Lara y Bazán-Guzmán, 2005; Tapia-García *et al.*, 2007) quienes concuerdan que en esta zona sucede una variación en el promedio de temperatura (a 10 m de profundidad) de 14° C (de noviembre a mayo) a 31 °C (junio a septiembre).

El promedio mensual de las concentraciones de clorofila *a*, en los primeros meses del año también registraron los valores más altos (2.46 mg m<sup>-3</sup>; Fig. 29). Resultados similares fueron reportados por otros autores (Lara-Lara *et al.*, 1998; Lluch-Cota *et al.*, 1997), los cuales señalan que la concentración de clorofila *a* en el Golfo de Tehuantepec va de 0.04 a 11.11 mg m<sup>-3</sup>, con un promedio de 1.42 mg m<sup>-3</sup>; asimismo señalan que las regiones central y oriental del golfo tienen aporte estacional de aguas productivas (>0.3 mg m<sup>-3</sup>) y la occidental es oligotrófica (<0.2 mg m<sup>-3</sup>).

Las variaciones en las concentraciones de clorofila *a* encontradas en el presente estudio, están relacionadas a la presencia de los vientos tehuanos (Fig. 29). Estos vientos procedentes del norte y pasan a través del istmo e inducen la formación de zonas de surgencias, las cuales gobiernan la circulación marina y las características de la región (Monreal-Gómez y Salas de León, 1998). A partir de mayo empieza a observarse una disminución en el viento y las concentraciones de clorofila *a*, hasta tener en agosto un valor promedio de 0.25 mg m<sup>-3</sup>.

El almacenamiento de energía en los organismos esta estrechamente ligado al metabolismo y a los factores ambientales (Fry, 1947). Son escasos los estudios que relacionan los factores ambientales con la fisiología energética en especies pelágicas, sobre todo tiburones, pero se pueden mencionar algunos estudios realizados bajo condiciones controladas, donde se ha probado el efecto de diferentes dietas y temperaturas en el gasto energético

principalmente en especies de interés comercial (Wieser *et al.*, 1992; Vega *et al.*, 2004; Koval, 2007).

Dadas las características del tiburón martillo como depredador pelágico, que realiza migraciones horizontales y movimientos verticales (Klimley *et al.*, 1993), principalmente a inmersiones por debajo de la capa mixta superficial hasta los 450 m (Klimley y Butler, 1988; Klimley *et al.*, 1993). En el presente estudio no fue posible determinar una relación directa de los valores energéticos obtenidos con los parámetros ambientales descritos (temperatura superficial del mar o concentraciones de clorofila *a*). Las variaciones en la energética de la especie pueden estar relacionadas a un retraso entre el consumo del alimento en la región, el cual es abundante derivado de un pico de productividad en época de nortes, dando como resultado variaciones en la presencia de especies pelágicas (se presentan 2 a 3 meses después de un pico de productividad) (Tapia-García y Gutiérrez-Díaz, 1998); y la acumulación de energía que posteriormente es empleada en el ciclo reproductivo, el crecimiento o la migración.

## X. CONCLUSIONES

-  Las especies presa más importantes en la dieta del tiburón martillo son: *Auxis spp.* y el calamar *Mastigoteuthis dentata*, especies abundantes y disponibles en la zona.
-  Los análisis estadísticos indican que se presentó una mayor similitud en la dieta entre los años 2005 y 2006, debido a la homogeneidad en la dieta y por el mayor aporte de biomasa a la misma.
-  La amplitud trófica para los tres años de estudio fue muy similar con un promedio de  $B_i = 0.2$ , lo cual representa el mayor consumo de algunas presas en la dieta del tiburón martillo.
-  El tiburón martillo es considerado como un depredador oportunista en el Golfo de Tehuantepec por presentar una flexibilidad en los hábitos alimenticios en respuesta a la variabilidad en la disposición de presas.
-  El análisis del contenido energético del tejido muscular, gonádico y hepático del tiburón martillo, indica que en el hígado se localiza la mayor cantidad de energía almacenada, seguido por las gónadas y músculo.
-  El patrón de almacenamiento energético total mostró que el almacenamiento de energía en el tiburón martillo fue mayor en el mes de marzo, y que las variaciones en el patrón de almacenamiento pueden corresponder a un periodo de crecimiento gonadal por parte del tiburón.
-  Las presas que más energía contribuye en la dieta del tiburón martillo son: *Auxis thazard*, seguido por el pez volador *Oxyporhamphus micropterus*, el camarón blanco *Litopenaeus vanammei* y el calamar *Lolliguncula spp.*
-  Durante el año 2006 el tiburón martillo consumió un total de 34 kcal de peso fresco, lo cual es considerado muy bajo comparado con otras especies como lo es el marlin rayado (*Tetrapturus audax*).

-  Con base al consumo de peso fresco se pudo determinar que las presas contenidas en la dieta del tiburón martillo presentaron un avanzado estado de digestión; así como el llenado de los estómagos, el cual fue bajo.
  
-  El tiburón martillo se caracteriza por ser un depredador pelágico que realiza migraciones así como movimientos verticales en la columna de agua; sin embargo, en el presente estudio no fue posible determinar una relación directa de los valores energéticos de este depredador con los parámetros ambientales (temperatura superficial del mar y clorofila *a*).
  
-  Las variaciones en los valores energéticos en el tiburón martillo pueden estar relacionadas a un retraso entre el consumo del alimento, el cual en la región es abundante debido al pico en la productividad que se presenta durante la época de nortes, y la acumulación de energía que posteriormente se emplea en los diferentes procesos metabólicos.

## LITERATURA CITADA

- Abitia Cárdenas LA, Muhlia Melo AF, Cruz Escalona VH, Galvan Magaña F; 2002; Trophic dynamic and seasonal energetic of striped marlin *Tetrapturus audax* in the southern Gulf of California, Mexico; Fisheries Research, 57, 287-295.
- Aguilar Castro NA; 2003; Ecología trófica de juveniles del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith and Smith, 1834) en el Golfo de California. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, La Paz, 110pp.
- Aguirre H, Sánchez P; 2005; Repartición del recurso trófico entre *Mullus barbatus* y *M. surmuletus* en el Mar Catalán (Mediterráneo Noroccidental); Ciencias Marinas, 31 (2), 429-439.
- Aguirre Gómez R, Salmerón García O; 2007; Análisis de la variación del fitoplancton marino en el Pacífico Sur Mexicano mediante imágenes seawifs de 1998 a 2004. In: Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT y Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Hernández de la Torre B, Gaxiola Castro G (eds); Ensenada, B.C.S. México, 508pp.
- Alejo Plata MC, Cercenares G, González Medina G; 2006; La pesca artesanal de tiburón en la Costa Chica de Oaxaca, México, 22-18. In: Memorias Primera Conferencia de Pesquerías Costeras en America Latina y el Caribe, Evaluando, Manejando y Balanceando Acciones. Salas S, Cabrera MA, Ramos J, Flores D, Sánchez J (eds); Mérida, Yucatán, 4-8.

- Alejo Plata M, Gómez Márquez J, Ramos S, Herrera E; 2007; Presencia de neonatos y juveniles del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) y del tiburón sedoso *Carcharhinus falciformis* (Müller & Henle, 1839) en la costa de Oaxaca, México; Revista de Biología Marina y Oceanografía, 42 (3), 403-413.
- Allen TB; 1999; The Shark Almanac, The Lyons Press, New York.
- Allen GR, Robertson DR; 1994; Peces del Pacífico Oriental Tropical, Ed. México Agrupación Sierra Madre, S.C.327pp.
- Altamirano-Ramírez RI, Cerdenares Ladrón de Guevara G; 2004; Hábitos alimentarios del atún aleta amarilla *Thunnus albacares* capturado por pesca artesanal en Puerto Ángel Oaxaca, Mexico; Coastfish Latin American and the caribbean, 67pp.
- Anislado TV; 2000; Ecología pesquera del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) en el litoral del estado de Michoacán, México, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F., 145.
- Anislado TV, Robinson MC; 2001; Age and growth for the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini* (Griffith and Smith, 1834) along the Central Pacific Coast of Mexico; Ciencias Marinas, 27, 501-520.
- Anthony JA, Roby DD, Truco KR; 2000; Lipid content and energy density of forage fishes from the northern Gulf of Alaska; Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 248: 53-78.
- AOAC; 1990; Determinación de Humedad y Cenizas. AOAC International Association of Analytical Communities, USA.
- Arellano Martínez M, Rojas Herrera A, García Domínguez F, Ceballos Vázquez BP, Villalejo Fuerte M; 2001; Ciclo reproductivo del pargo lunajero

*Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) en las costas de Guerrero, México;  
*Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 36 (1), 1-8.

Ayala Duval E, Maldonado Monroy MC, Becerril Martínez JA, García Tamayo DT, Juárez Ortiz C, Blas Cabrera J, Barrios-Orozco V, Huerta González JA, Almaráz Gómez A; 1998; Distribución de algunos componentes del ictioplancton y su relación con la biomasa zooplanctónica; 8, 93-102; In: El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos; Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Tapia García M (eds.); México, 240pp.

Babor JA, Ibarz Aznárez J; 1956; Química general moderna, M. Marín, Barcelona.80pp.

Badui S; 1986; Química de los Alimentos, Alhambra, México.76pp.

Barbour MT, Gerritsen J, Snyder BD, Stribling JB; 1999; Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish; Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.

Baum, J., Clarke, S., Domingo, A., Ducrocq, M., Lamónaca, A.F., Gaibor, N., Graham, R., Jorgensen, S., Kotas, J.E., Medina, E., Martinez-Ortiz, J., Monzini Taccone di Sitizano, J., Morales, M.R., Navarro, S.S., Pérez, J.C., Ruiz, C., Smith, W., Valenti, S.V. & Vooren, C.M. 2007. *Sphyrna lewini*. In: IUCN 2010. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.3. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>. Downloaded on 25 October 2010.

Belitz H, Grosch W; 1985; Química de los Alimentos; Acribia, Zaragoza, España.198pp.

- Bejarano Álvarez OM; 2007; Biología reproductiva del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) en Salina Cruz, Oaxaca, México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional,, La Paz, 73pp.
- Bigelow KA, Boggs CH; 2002; Environmental effects on swordfish and blue shark catch rates in the US North Pacific longline fishery; Fisheries Oceanography, 8 (3), 178 – 198.
- Branstetter S; 1987; Age, growth and reproductive biology of the silky shark, *Carcharhinus falciformis*, and the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, from the northwestern Gulf of Mexico; Environmental Biology of Fishes, 19, 161-174.
- Brenes CL, Hernández A, Campos J; 2000; Distribución espacial de capturas de tiburón en el pacífico nicaragüense y su relación con algunas variables oceanográficas; Revista de Biología Tropical, 48 (2-3), 399-411.
- Bruyn P, Dudley SFJ, Cliff G, Smale MJ; 2005; Sharks caught in the protective gill nets off Kwanzulu-Natal, South Africa. 11. The Scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini* (Griffith and Smith); African Journal of Marine Science, 27 (3), 517-528.
- 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 Kane'ohē Bay, O'ahu, Hawai'i; Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 278, 157-1
- Bonfil R; 1994; Overview of World Elasmobranch Fisheries; FAO Fisheries Technical Papers 41; Rome, FAO, 119.

- Bosque Sendra BJ; 1990; Introducción a los Sistemas de Información Geográfica; Rialp, Barcelona, España, 523pp.
- Cailliet GM, Love MS, Ebeling AW; 1986; Fishes, A field and laboratory manual on their structure, identification, and natural history; Wadsworth Publishing Company, 194pp.
- Campana SE, Joyce WN; 2003; Temperature and depth associations of probeagle shark (*Lamna nasus*) in the northwest Atlantic; Fisheries Oceanography, 13 (1), 52 – 64.
- Carey FG, Scharold JV, Kalmijn AJ; 1990; Movements of blue sharks (*Prionace glauca*) in depth and course; Marine Biology, 106 (3), 329-342.
- Carrier JC, Musick JA, Heithaus MR; 2004; Biology of Sharks and Their Relatives; CRC Press, 596pp.
- Castillo Géniz JL, Márquez Farias JF, Rodríguez MC, Cortés E, Cid del Prado Vera A; 1998; The Mexican artisanal shark fishery in the Gulf of Mexico: towards a regulated fishery; Marine and Freshwater Research, 49 (7), 611-620.
- Castillo Geniz JL, Soriano Velásquez SR, Sancho Vásquez F, Ramírez Santiago CE, Cid del Prado Vera A; 2001; Elasmobranquios del Golfo de Tehuantepec, Litoral Chiapaneco; Instituto Nacional de la Pesca, 46 pp.
- Castillo Olguín E; 2005; Estructura genética poblacional de dos especies de tiburones (*Carcharhinus falciformis* y *Sphyrna lewini*) del pacífico mexicano, In: Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 98pp.
- Cervigón F; 1992; Tiburones, peces batoideos y peces óseos; In: Fichas FAO de identificación de especies para los fines de pesca. Guía de campo de

las especies comerciales marinas y de aguas salobres de la costa septentrional de Sur América; Cervigón FR, Cipriani W, Fischer L, Garibaldi M, Hendrickx AJ, Lemus R, Márquez J, Poutiers M, Robaina G, Rodríguez B, (eds.); Roma, 513.

Charnov EL, Orinas GH, Hayatt K; 1976; Ecological implications of resource depression; *The American Naturalist*, 110, 247-259.

Clarke TA; 1971; The ecology of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, in Hawaii; *Pacific Science*, 25, 133-144.

Clarke MR; 1962; The identification of cephalopod beaks and their relationship between beak size and total body weight; *Bulletin of the British Museum (Natural History)*, 8 (10), 422-480.

Clarke MR; 1986; A handbook for the identification of cephalopod beaks; Clarendon Press, Oxford, 273.

Clothier CR; 1950; A key to some southern California fishes based on vertebral characters. California Department of Fish and Game; *Fishery Bulletin*, 79, 1-83.

Coello S; 2005; La Administración de los Chondrichthyes en Ecuador; Aportes para el Plan Nacional de Tiburones; UICN, Quito, Ecuador, 36pp.

Compagno LJV; 1984; FAO Species Catalogue, Sharks of the world, An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date; Carcharhiniformes. *FAO Fisheries Synopsis*, 125 (4/2), 251-655.

Compagno LJV; 1998; Sphyrnidae, Hammerhead and bonnethead sharks; In: FAO identification guide for fishery purposes; *The Living Marine*

- Resources of the Western Central Pacific. Carpenter KE, Niem VH, (eds.); Rome, 1361-1366.
- CONAPESCA-INP; 2004; Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines en México; Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca e Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Mazatlán, México, 80pp.
- Córtés E; 1997; A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes; Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 54, 726–738.
- Córtés E; 1998; Methods of studying fish feeding; Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 55, 2708.
- De Silva SS, Anderson TA; 1995; Fish Nutrition in Aquaculture; Chapman and Hall, London, 319pp.
- Dill LM; 1983; Adaptive flexibility in the foraging behavior of fishes; Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 40, 389-408.
- Duncan KM; 2006; Estimation of daily energetic requirements in young scalloped hammerhead sharks, *Sphyrna lewini*; Environmental Biology of Fishes; 76 (2-4), 139-149.
- Dowd WW; 2003; Metabolic rates and bioenergetics of juvenile sandbar sharks (*Carcharhinus plumbeus*); The Faculty of the School of Marine Science, 1-125.
- Eliassen JE, Vahl O; 2006; Seasonal variations in biochemical composition and energy content of liver, gonad and muscle of mature and immature cod,

- Gadus morhua* (L.) from Balsfjorden, northern Norway; Journal of Fish Biology, 20(6), 707 – 716.
- Ellison JP; 1978; The use of discriminant analysis in the study of fish food habits, In: 2nd Pacific Northwest Technical Workshop, Proceedings. Lipovosky S, Simenstad C, (eds.); Washington, 80-84.
- Encina L, Castaño V, García B, Gil M; 1999; Ecología trófica del barbo (*Barbus sclateri*) en cuatro embalses del Sur de España.; Limnetica, 17, 95-105.
- Espínola LA, Dominguez WM, Benedito E; 2008; Variaciones en el contenido de energía en músculos de *Salminus brasiliensis* en diferentes estados de desenvolvimiento gonadal en el área de influencia del reservatório de Manso, Mato Grosso, Brasil; Iheringia, Série. Zoologia, 98 (1), 143-147.
- Evans DH; 1993; The physiology of fishes. , CRC press, Boca Ratón.
- Fernández F; 2003; Introducción a las hormigas de la región neotropical; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá, Colombia, 398 pp.
- Fischer W, Krupp F, Schneider W, Sommer C, Carpenter KE, Niem VH; 1995; Pacífico Centro-Oriental; Guía FAO para la identificación de especies para los fines de pesca. FAO. Roma, (Vol- I - II - III) 1 -1813.
- Fry F; 1947; Effects of the environment on animal activity; University of Toronto, studies in biology series, 55, 1-62.
- Gallegos García A, Barberán Falcón J; 1998; Surgencia eólica, In: El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos. Tapia García M, ed. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalpa, México, 27-34.

- Galván Magaña F, Nienhuis HJ, Klimley A P; 1989; Seasonal abundance and feeding habits of sharks of the lower Gulf of California, México; California Fish and Game, 75, 74-84.
- Gamboa Contreras JA, Tapia García M; 1998; Invertebrados bentónicos de la plataforma continental interna, In: El Golfo de Tehuantepec: El ecosistema y sus recursos. Tapia García M, ed. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, México, 129-148.
- Garth JS, Stephenson W; 1966; Brachyura of the Pacific coast of America. Brachyrhyncha: Portunidae. Allan Hancock Monogr; Marine Biology, 1, 154.
- Gerking SD; 1994; Feeding ecology of fish, Academy Press, San Diego, Ca.
- Gilbert CR; 1967; A revision of the hammerhead sharks (Family Sphyrnidae); Proceedings of the United States National Museum, 119, 1-88.
- Goldman K; 1997; Regulation of body temperature in the white shark, *Carcharodon carcharias*; Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology, 167(6), 423-429.
- Guisande González C, Barreiro Felpeto A, Maneiro Estraviz I, Riveiro Alarcón I, Vergara Castaño AR, Vaamonde Liste A; 2006; Tratamiento de datos, Diaz de Santos, España.
- Hansson S; 1998; Methods of studying fish feeding: a comment; Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 55, 2706–2707.
- Hendry AP, Berg OK; 1999; Secondary sexual characters, energy use, senescence and the cost of reproduction in sockeye salmon; Canadian Journal of Zoology, 77, 1663–1675.

- Holden MJ; 1974; Problems in the rational exploitation of elasmobranchs populations and some suggested solutions, In: Sea Fisheries Research. Jones FH, ed. Halsted Press, J. Wiley & Sons New York, 137-177.
- Horn HS; 1966; Measurement of overlap in comparative ecological studies; American Naturalist, 100, 419-424.
- Hoyle WE; 1904; Reports on the Cephalopoda; Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College, in Cambridge, 43 (1), 1-72.
- Hurst TP, Conover DO; 2003; Seasonal and interannual variation in the allometry of energy allocation in juvenile striped bass; Ecology, 84, 3360-3369.
- Icaza, G. C. 1990. Aplicación de la tecnología de percepción remota a las pesquerías marinas: manual introductorio. In: M.J.A. Butler; M.C. Mouchot; V. Barale; C. LeBlanc. FAO Documentos técnicos de pesca. 212pp.
- Instituto Nacional de Pesca; 1999-2000; Sustentabilidad y pesca responsable en México, Evaluación y manejo, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México.
- Iverson LK, Pinkas L; 1971; A pictorial guide to beaks of certain eastern pacific cephalopods; California Division Fish and Game, Fishery Bulletin, 152, 83-105.
- Jaime RM; 2004; Captura de tiburones pelágicos en la costa occidental de Baja California Sur y su relación con cambios ambientales. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, , La Paz 110pp.
- Klimley AP; 1985; Schooling in *Sphyrna lewini*, a species with low risk of predation: a non egalitarian state; Z. Trepyschool, 70, 297-319.

- Klimley AP; 1987; The determinants of sexual segregation in the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*; Environmental biology of fishes., 18(1), 27-40.
- Klimley AP, Nelson DR; 1981; Schooling of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, in the Gulf of California; Fishery Bulletin., 79, 356-360.
- Klimley AP; 1993; Highly directional swimming by scalloped hammerhead sharks, *Sphyrna lewini*, and subsurface irradiance, temperature, bathymetry, and geomagnetic field; Marine biology, 117, 1-22.
- Klimley AP, Butler SB; 1988; Immigration and emigration of a pelagic fish assemblage to seamounts in the Gulf of California related to water mass movements using satellite imagery; Marine Ecology Progress Series, 49, 11-20.
- Klimley AP, Cabrera Mancilla I, Castillo Geniz JL; 1993; Descripción de los movimientos horizontales y verticales del tiburón martillo *Sphyrna lewini*, en el Golfo de California, México; Ciencias Marinas, 19, 95-115.
- Klimley AP, Beavers SC, Curtis TH, Jorgensen SJ; 2002; Movements and swimming behavior of three species of sharks in La Jolla Canyon, California; Environmental Biology of Fishes, 63, 117-135.
- Koval MV; 2007; Diel energy consumption and food requirements by juvenile sockeye salmon during their fall migration in the Okhotsk Sea; North Pacific Anadromous Fish Commission, 7, 45-47.
- Krebs CJ; 1989; Ecological methodology, Harper and Row, New York.
- Lambshead P, Platt H, Shaw K; 1983; The detection of differences among assemblages of marine benthic species based on an assessment of dominance and diversity; Journal of Natural History, 17, 859-874.

- Langton RW; 1982; Diet overlap between the Atlantic cod, *Gadus morhua*, silver hake *Merluccius bilinearis*, and fifteen other northwest Atlantic finfish. U.S. National Marine Fisheries Service; Fishery Bulletin., 80, 754-759.
- Lapropoulou M, Eleftheriou A; 1997; The foraging ecology of two pairs of congeneric demersal fish species: importance of morphological characteristics in prey selection; Journal of Fish Biology, 50, 324-340.
- Lara Lara JR, Robles Jarero EG, Bazán Guzmán MC, Millan Núñez E; 1998; Productividad del fitoplancton, In: El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos. Tapia-García M, ed. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, 51-58.
- Lavín M, Robles J, Argote M, Barton E, Smith R, Brown M, Trasviña A, Vélez H, García J; 1992; Física del Golfo de Tehuantepec; Revista de Ciencia y Desarrollo, XVIII (103), 97-108.
- Lehninger AL; 1985; Bioquímica, Eds. Omega, España.
- Liao H, Pierce CL, Larscheid JG; 2001; Empirical assessment of indices of prey importance in the diets of predacious fish; Transactions of the American Fisheries Society, 130, 583–591.
- Lindeman RL; 1942; The trophic dynamic aspect of ecology; Ecology, 23, 399-418pp.
- Lowe CG; 2001; Metabolic rates of juvenile scalloped hammerhead sharks (*Sphyrna lewini*); Marine Biology, 139, 447-453.
- Lowe CG; 2002; Bioenergetics of free-ranging juvenile scalloped hammerhead sharks (*Sphyrna lewini*) in Kane'ohe Bay, O'ahu, HI; Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 278, 141-156.

- Lozano Vilano MdL, Contreras Balderas S; 2002; Libro jubilar en honor al Dr. Salvador Contreras Balderas, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.325pp.
- Lucifora LO; 2003; Ecología y conservación de los grandes tiburones costeros de Bahía Anegada, In: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Mar del Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina, 410pp.
- Macdonald JS, Green RH; 1983; Redundancy of variables used to describe importance of prey species in fish diets; Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 40, 635–637.
- Mackinnon J; 1972; Summer storage of energy and its use for winter metabolism and gonad maturation in American plaice (*Hippoglossoides platessoides*); Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 29, 1749-1759.
- Margalef López R; 1993; Teoría de los sistemas ecológicos., Publicaciones y Ediciones Universitat de Barcelona, España.290pp.
- Márquez Farías JF, Rodríguez Valencia JA, Cisneros Mata MA; 2006; Distribución y migración de tiburones pelágicos en el Golfo de California y sus zonas adyacentes; 29pp.
- McEachran JD, Capapé C; 1984; Rhinopteridae, In: Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean. Whitehead PJP, Bauchot ML, Hureau JC, J. N, Tortonese E, eds. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, 208-209.

- Menni RC, Lucifora LO; 2007; Condrictios de la Argentina y Uruguay; ProBiota, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata, 11, 1-15.
- Miller DJ, Jorgensen SC; 1973; Meristic characters of some marine fishes of the western Atlantic Ocean; California Department of Fish Bulletin, 71 (1), 301-312.
- Miller RL, McKee BA; 2004; Remote Sensing of Environment; Using MODIS Terra 250 m imagery to map concentrations of total suspended matter in coastal waters, 93, 259–266.
- Monod T; 1968; Le complexe urophore des poissons teleosteens; Memories de L'Institute Fundamental D' Affrique Noire, 81, 705
- Monreal-Gómez MA, Salas De León DA; 1998; Dinámica y estructura termohalina, In: El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos. Tapia-García M, ed. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalpa, México, 13-26.
- Montecchia CL, Crupkin M, Truccos RE; 2006; Seasonal variations in biochemical and physicochemical properties of actomyosin and energy content of the liver, gonads and muscle of mature Argentine hake, *Merluccius hubbsi marini*; Journal of Fish Biology, 37, 837-843.
- NASA; 2007; The remote sensing tutorial.
- NOAA Fisheries; 2007; Apex Predators Investigation.
- Olson RJ, Boggs CH; 1986; Apex predation by yellowfin tuna (*Thunnus albacares*): Independent estimates from gastric evacuation and stomach contents, bioenergetics, and cesium concentrations; Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 43, 1760-1775.

- Olson RJ, Galván-Magaña F; 2002; Food habits and consumption rates of common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the Eastern Pacific Ocean; Fishery Bulletin, 279-298.
- Parr Instrument, Co. 1980. *Instructions for the 1241 automatic adiabatic calorimeter Manual*. 33pp.
- Peña Díaz A, Arroyo Begovich A, Gómez-Puyou A, Tapia-Ibargüengotia R; 1979; Bioquímica, Limusa, México.398pp.
- Pérez MA; 1994; Calorimetry measurements of energy value of some Alaskan fishes and squids; NOAA Tech. Memo, 32pp.
- Phillipson J; 1964; A miniature bomb calorimeter for small biological samples; Oikos 15, 130-139.
- Pianka ER; 1982; Ecología evolutiva, Omega, Barcelona.363pp.
- Piercy AN, Carlson JK, Sulikowski JA, Burgess GH; 2007; Age and growth of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, in the north-west Atlantic Ocean and Gulf of Mexico; Marine and Freshwater Research, 58, 34-40.
- Pinkas L, Oliphant SM, Iverson LK; 1971; Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters; Fishery bulletin, 152, 105.
- Pratt HLJ; 1993; The storage of spermatozoa in the oviducal glands of western North Atlantic sharks, In: The reproduction and development of sharks, skates, rays and ratfishes. Wourms JP, Demski LS, eds. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 139-149.
- Preti A, Smith SE, Ramon DA; 2001; Feeding habits of the common thresher shark (*Alopias vulpinus*) sampled from the California-based drift gill net fishery, 1998-1999; CalCOFI, 42, 145-152.

- Polo Silva C, Baigorri Santacruz A, Galván Magaña F, Grijalba Bendeck M, Sanjuan Muñoz A; 2007; Hábitos alimentarios del tiburón zorro *Alopias superciliosus* (Lowe, 1839), en el Pacífico Ecuatoriano; Revista de biología marina y oceanografía, 42 (1), 59-69.
- Ramos Cruz S, Ramos Santiago E; 2006; Abundancia relativa de postlarvas de camarones peneidos en la bahía Salinas del Marqués, Golfo de Tehuantepec, México; Revista de Biología Marina y Oceanografía, 41, 121-128.
- Rau GH, Mearns AJ, Young DR, Olson RJ, Schafer HA, Kaplan IR; 1983; Animal 13C/12C correlates with trophic level in pelagic food webs; Ecology, 64 (5), 1314-1318.
- Robles JEG, Lara-Lara JR; 1993; Phytoplankton biomass and primary productivity by size classes in the Gulf of Tehuantepec, México; Journal of Plankton Research, 12, 1341-1358.
- Rolle K; 2006; Termodinámica, Pearson Educación, España.768pp.
- SAGARPA-INP; 2004; Carta Nacional Pesquera (2004).
- SAGARPA-INP; 2006; Actualización de la Carta Nacional Pesquera (2006).
- Segura ZM, Atiquipa OJ, Vázquez EL, Ñiquen CM; 2000; Análisis de las pesquerías industriales utilizando análisis satelital, In: Instituto del Mar del Perú. Dirección de Tecnología Electroacústica y Teledetección, 10.
- Sekiguchi K, Best PB; 1997; In vitro digestibility of some prey species of dolphins; Fishery Bulletin, 95, 386-393.
- Sepulveda CA, Graham JB, Bernal D; 2007; Aerobic metabolic rates of swimming juvenile mako sharks, *Isurus oxyrinchus*. Marine Biology; 152 (5), 1087-1094.

- Sidders MA, Tamini LL, Perez JE, Chiaramonte GE; 2005; Biología reproductiva del gato Mustelus schmitti Springer, 1939 (*Chondrichthyes, Triakidae*) en el área de Puerto Quequén, Provincia de Buenos Aires; Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, 7 (1), 89-101.
- Simpfendorfer CA, Hueter RE, Bergman U, Connett SMH; 2002; Results of a fishery-independent survey for pelagic sharks in the western North Atlantic, 1977-1994.; Fisheries Research, 55 (1-3), 175-192.
- Smale MJ, Cliff G; 1998; Cephalopods in the diets of four shark species (*Galeocerdo cuvier*, *Sphyrna lewini*, *S. zygaena* and *S. mokarran*) from kwazulu-natal, South Africa, In: Cephalopod Biodiversity, Ecology and Evolution. Payne AIL, Lipinskim M.R., Clarke, M.R. and M.A.C. Roeleveld, ed. South African Journal of Marine Science, 241-253.
- Smith PE, Zaret MT; 1982; Bias in estimating niche overlap; Ecology, 63 (5), 1248-1253.
- Soriano Velázquez S, Acal Sánchez D; 2003; La pesquería de tiburón en Chiapas y su entorno socioeconómico. La Jornada Ecológica.UNAM. <http://www.jornada.unam.mx/2003/01/27/eco-cara.html>
- Space Flight Center G; 1995; MODIS: moderate resolution imaging spectroradiometer, The Administration, Goddard Space Flight Center, USA.
- Springer S; 1990; Sphyrnidae. Check-list of the fishes of the eastern tropical Atlantic (CLOFETA), In: Reviews in Fish Biology and Fisheries. Quero JC, Hureau JC, Karrer C, Post A, Saldanha I, eds. Ajunta Nacional de Investigaçao Científica e Tecnológica /SEI/United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, 109-110.

- Springer VG, Gold JP; 1989; Sharks in questions (The Smithsonian answer book).187pp.
- Stephens DA, Krebs JR; 1986; Foraging theory, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.125pp.
- Stevens J, Bonfil R, Dulvy K, Walker P; 2000; The effects of fishing on sharks, rays, and chimaeras (chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems; *Journal of Marine Science*, 57, 476-494.
- Stillwell CE, Kohler NE; 1982; Food, feeding habits, and estimates of daily ration of the shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) in the northern Atlantic; *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39, 407-414.
- Stumpf HG; 1975; Satellite detection of upwelling in the Gulf of Tehuantepec, Mexico; *Journal of Physical Oceanography*, 5, 383–388.
- Sverlij SB, Espinach Ros A; 1986; El dorado, *Salminus maxillosus* (Pisces, Caraciformes) en el río de La Plata y río Uruguay inferior; *Revista de Investigación de Desarrollo Pesquero*, 6, 57-75.
- Tapia-García M, Gutiérrez Díaz B; 1998; Recursos pesqueros de los estados de Oaxaca y Chiapas, In: *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*. Tapia-García M, ed. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, 149-162.
- Tapia-García M; 1998; Ecología de ictiofauna demersal, In: *El Golfo de Tehuantepec: El ecosistema y sus recursos*. Tapia García M, ed. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, México, 129-148.
- Toline CA, Baker AJ; 1993; Foraging tactic as a potential selection pressure influencing geographic differences in body shape among populations of

- dace (*Phoxinus eos*) Canadian Journal of Zoology/Revue Canadienne de Zoologie, 71 (11), 2178-2184.
- Torres Huerta AM; 1999; Observaciones sobre la biología reproductiva de la cornuda barrosa *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834)(Pisces: Sphyrnidae) en aguas del noroeste de México, In: Escuela de Estudios Profesionales, Campus Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Torres Rojas YE; 2003; Análisis del contenido estomacal del tiburón *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) capturado en el área de Mazatlán, Sinaloa, México, In: Facultad de Ciencias del Mar. Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, 41.
- Trasviña A, Barton E; 1997; Los "Nortes" del Golfo de Tehuantepec, la circulación costera inducida por el viento, In: Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Lavin M, ed. Unión Geofísica Mexicana, México, 25-46.
- Trenkel VM, Pinnegar JK, Dawson WA, Du built MH, Tidd AN; 2003; Does diet in Celtic Sea fishes reflect prey availability?; Journal of Fish Biology, 23 (1), 197-212.
- Tricas TC; 1979; Relationships of the blue shark, *Prionace glauca*, and its prey species near Santa Catalina island, California; Fishery Bulletin, 77 (1),175-182.
- Unesco; 1978; Documentos de base y datos en la Escala Práctica de Salinidad; Technical Papers in Marine Science, 37, 144.
- Unesco; 1985; El Sistema Internacional de Unidades (SI) en Oceanografía; Technical Papers in Marine Science, 45, 124.

- Van Pelt TI, Piatt JF, Lance BK, Roby DD; 1997; Proximate composition and energy density of some North Pacific Forage fishes; *Comparative Biochemistry and Physiology, Series A*, 118A:1398.
- Vaske Júnior T, Vooren CM, Lessa RP; 2009; Feeding strategy of the night shark (*Carcharhinus signatus*) and scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) near seamounts off northeastern Brazil; *Brazilian Journal of oceanography*, 57 (2), 97-104.
- Vecchione M, Young RE, Lindgren A; 2007; Mastigoteuthidae Verrill, 1881. Mastigoteuthis Verrill, 1881. Whip-lash squid. The Tree of Life Web Project.
- Vega ME, Díaz F, Espina S; 2004; Balance energético de juveniles de *Chirostoma estor estor* (Jordan, 1879) (Pisces, Atherinopsidae) en relación con el tamaño corporal; *Hidrobiológica*, 14 (2), 113-120.
- Wahbeh MI, Ajiad A; 1985; The food and the feeding habitats of the goatfish, *Parupeneus barberinus* (Lecepede), from Aquaba, Jordan; *Journal of Fish Biology*, 27, 147-154.
- Wetherbee B, Gruber S, Cortes E; 1990; Diet, feeding habits, digestion and consumption in sharks, with special reference to the lemon shark, *Negaprion brevirostris*, In: *Elasmobranchs as living resources: advances in the biology, ecology, systematics and the status of the fisheries*. Pratt HL J, Gruber S, Taniuchi T, eds. National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Report, Seattle, 29-47.
- Wetherbee B, Cortés E; 2004; Food consumption and feeding habits, In: *Biology of sharks and their relatives*. Carrier JC, Musick JA, Heithaus MR, eds. CRC Press, USA, 225-246.

Wiser W, Laich A, Medgyesy N; 1992; Energy allocation and yield and cost of growth in young *Esox lucius* and *Coregonus lavaretus* (Teleostei): influence of species, prey type and body size; Journal of Experimental Biology, 169, 165-179.

Zar J; 1996; Biostatistical analysis, NJ: Prentice -Hall., USA.663pp.

## ANEXO I

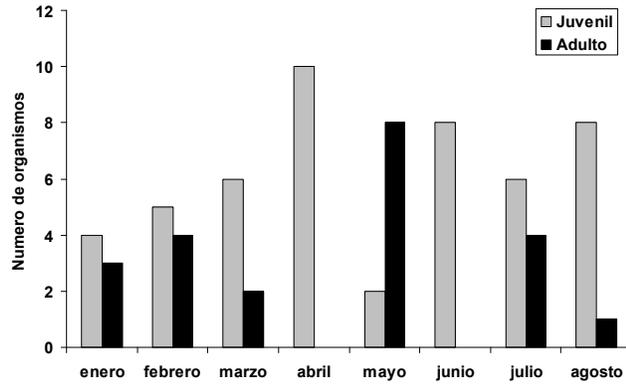


Figura 1. Estacionalidad de los registros de juveniles y adultos de tiburón martillo *Sphyrna lewini*, durante el año 2006 en el Golfo de Tehuantepec, Oax.

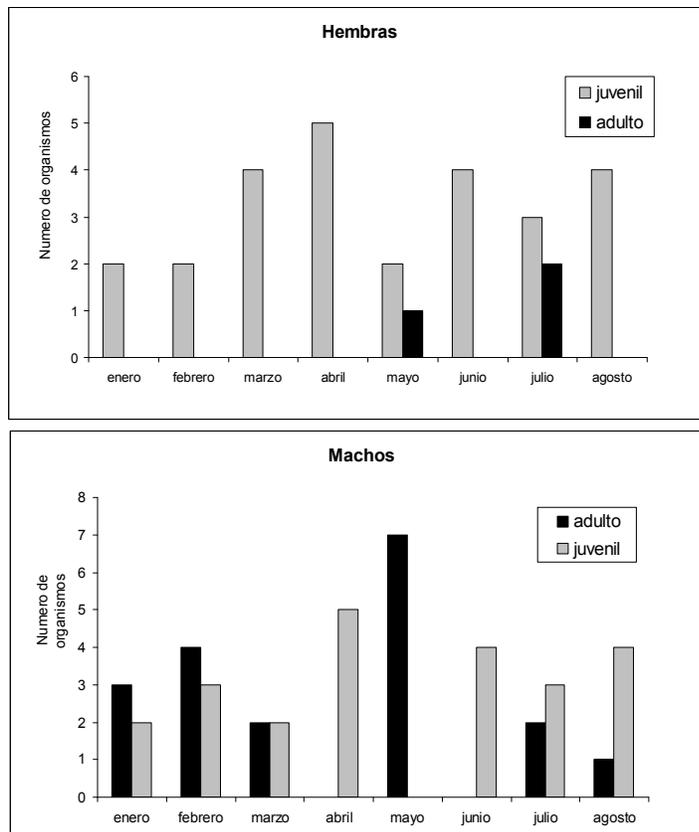


Figura 2. Estacionalidad de los registros de machos juveniles y adultos, así como hembras juveniles y adultos de tiburón martillo *Sphyrna lewini*, durante el año 2006 en el Golfo de Tehuantepec, Oax.

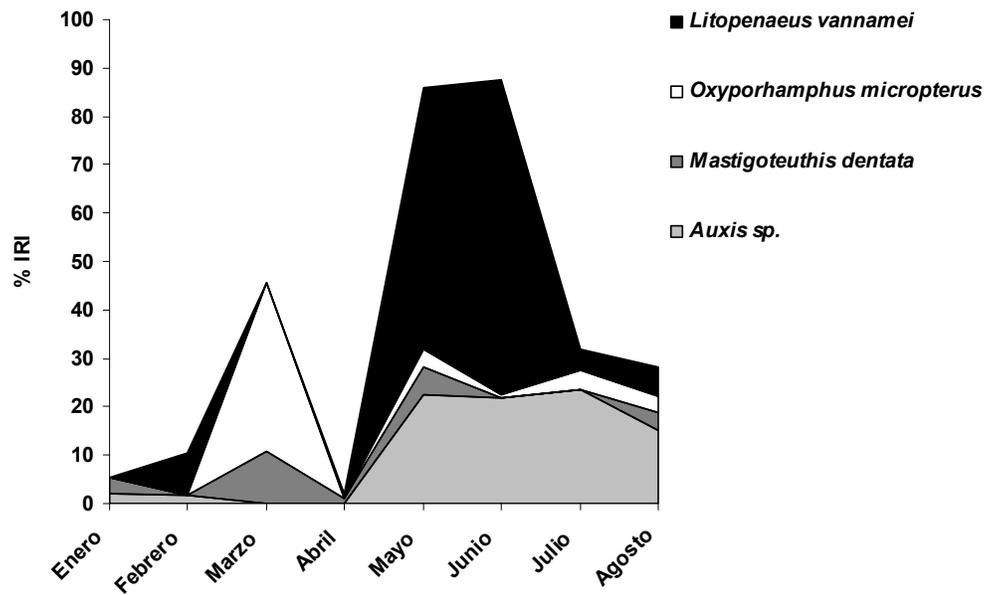


Figura 3. Variación mensual de los componentes tróficos de la dieta del tiburón martillo *Sphyrna lewini*, durante el año 2006 en el Golfo de Tehuantepec, Oax. (%IIR) Índice de importancia relativa.

## ANEXO II

A) Procedimiento de la determinación del contenido de humedad de los tejidos (muscular, gonádico, hepático y presas) del tiburón martillo, mediante el método 930.15 AOAC (AOAC, 1990):

- Se lavaron crisoles de porcelana con agua destilada y éter
- Se secaron en la estufa a 50° a 60 °C hasta peso constante (24 h aproximadamente)
- Se dejaron enfriar en un desecador para evitar la hidratación
- Se pesaron en una balanza analítica
- Se pesó 1 g de muestra dentro del crisol
- Posteriormente esta se colocó en la estufa a 50° a 60 °C hasta peso constante (aproximadamente 48 h)
- Se sacaron los crisoles con la muestra, y colocaron en un desecador para enfriar
- Se pesaron rápidamente en la balanza analítica
- Se realizaron dos repeticiones por muestra

El cálculo del porcentaje de humedad en los tejidos se obtuvo de la siguiente manera:

$$\% \text{ HUMEDAD} = \frac{\text{agua evaporada (g)}}{\text{masa de la muestra (g)}} = \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1} * 100$$

Donde P1 = es el peso del crisol vacío; P2 = es el peso (g) del crisol con muestra antes del secado (g) y P3=es el peso (g) del crisol con la muestra después del secado.

B) Procedimiento de la determinación del contenido de cenizas de los tejidos (muscular, gonádico, hepático y presas) del tiburón martillo, mediante el método 942.05 (AOAC, 1990):

- Se empleó la muestra resultante de la extracción de humedad, la cual se quemó en un mechero hasta que dejó de salir humo.
- Posteriormente la muestra se calcinó totalmente en la mufla precalentada de 550° a 600 °C durante 3 h.
- Se sacó el crisol de la mufla y dejó enfriar en el desecador, para posteriormente pesar.

La determinación de cenizas se realizó con el siguiente cálculo:

$$\% \text{ CENIZAS} = \frac{\text{peso de la muestra incinerada (g)}}{\text{peso de la muestra seca (g)}} = \frac{CC - C}{P} * 100$$

Donde CC = es el peso (g) del crisol más la ceniza; C = peso del crisol vacío y P = peso de la muestra.