



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO
POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD MÉRIDA**

DEPARTAMENTO DE RECURSOS DEL MAR

**Efectos de los contaminantes de pozos petroleros y zonas aledañas sobre las
comunidades de metazoarios parásitos del lenguado mexicano *Cyclopsetta chittendeni*
en la Sonda de Campeche, Golfo de México**

Tesis que presenta

Lic. Biol. Mar. Santa Jacqueline Guerrero Fuentes

Para obtener el grado de **Maestro en Ciencias** en la
Especialidad de **Biología Marina**

DIRECTOR DE TESIS:
Dr. Víctor Manuel Vidal Martínez

Mérida, Yucatán

Noviembre, 2021

DEDICATORIA

A Sofi

El único motor para mi vida

A mis padres

Por brindarme la educación necesaria para llegar
hasta donde estoy el día de hoy

A mis hermanos

Porque a pesar de que no se los digo todo el tiempo
mi vida no sería ni será lo mismo si alguno
de ustedes me faltara, los amo

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional **CINVESTAV**-Unidad Mérida por permitirme realizar mis estudios de posgrado en este instituto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología **CONACYT** por la beca otorgada (**No. CVU: 677916**) durante el proceso del posgrado establecido, mediante del programa de becas nacionales del programa nacional de posgrados de calidad PNPC.

A mi director de tesis el **Dr. Víctor** Manuel Vidal Martínez por su paciencia, confianza, apoyo y por el tiempo brindado en todo el transcurso del posgrado.

A la **Dra. Lilia Catherine** Soler Jiménez por su valioso tiempo y dedicación para conmigo, sin ella este camino hubiera sido muy complicado.

Al **Dr. Emmanuel** Hernández Núñez porque a pesar de que la tesis cambio de orientación, siempre tuvo la disposición y amabilidad de guiarme, por todas sus enseñanzas en cromatografía, espero utilizarlas en el futuro y no defraudarle.

Al sínodo conformado por la **Dra. Leopoldina** Aguirre Macedo y el **Dr. Jorge** Alfredo Herrera Silveira, gracias por su amabilidad y por el valioso tiempo dedicado para la revisión de este documento y sus acertados comentarios para la mejora de este estudio.

Al Laboratorio de **Patología Acuática** del Departamento de Recursos del Mar, por prestarme sus equipos e instalaciones y darme un espacio personal durante mi estancia. Un enorme agradecimiento a todos aquellos que contribuyeron en la identificación de los parásitos reportados en esta tesis.

Al **Dr. Jorge** Montero por la asesoría y paciencia en la interpretación de los resultados en la parte de los análisis estadísticos de este trabajo.

A mis amigos **Sergio** Solís (Serch), **Abraham** Caro (Abuma) y **Raúl** Martínez (Rulo); sin ustedes esta etapa de mi vida no hubiera estado llena de alegría, por cada noche de desvelo y trabajo juntos.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar el potencial efecto de la distancia geográfica de los pozos petroleros sobre los métricos de las comunidades de parásitos del lenguado mexicano (*Cyclopsetta chittendeni*) en la Sonda de Campeche. De agosto a octubre del 2015, se capturaron y examinaron 121 ejemplares del lenguado mexicano *C. chittendeni* en la Sonda de Campeche. El área incluyó 27 estaciones de muestreo, las cuales fueron divididas en tres grupos: cerca (1-10km), media (11-26km) y lejos (27-258km) según las distancias que presentaban con respecto a los pozos petroleros y con nueve estaciones de muestreo por cada grupo de estaciones. Se cuantificaron un total de 44,323 individuos metazoarios parásitos pertenecientes a 30 taxa. Se encontraron 13,513 digeneos, 27,301 cestodos, 2872 nematodos, 148 acantocéfalos y 84 artrópodos. Tres especies estuvieron presentes en todas las estaciones (27 estaciones): *Oncomegas wagneri*, *Tetraphyllidea* gen. sp. y *Lecithochirium floridense*, siendo esta última la especie más prevalente con un 80% de prevalencia. La comunidad componente presentó 30 especies en total, de 20 a 24 especies por grupo de estaciones, una diversidad de Shannon de 1.61 y una equidad de Pielou de 0.45. La infracomunidad presentó una riqueza de especies de 5.61 ± 2.29 y 362.96 ± 54.40 individuos por pez. El índice de diversidad de Brillouin en promedio fue de 1.19 ± 0.36 , con una equidad media de 0.50 ± 0.15 . Tanto a nivel componente como infracomunidad, el cestodo larval *Lecanicephalum* sp. fue la especie más dominante numéricamente. Se comprobó que existe una variación en las abundancias de ciertas especies y un cambio en la especie dominante entre los grupos más cercanos y lejanos de los pozos petroleros. Se observaron asociaciones estadísticas significativas entre la abundancia de las especies de metazoarios parásitos a nivel componente de comunidad y los contaminantes en sedimentos. Las correlaciones negativas registradas entre los contaminantes y los parásitos sugieren que estos parásitos pueden ser afectados negativamente por estos contaminantes o por la cercanía a los pozos petroleros.

ABSTRACT

The objective of this thesis was to determine whether the geographic distance from oil wells affect the parasite community metrics of the Mexican flounder (*Cyclopsetta chittendeni*) in the Campeche Sound. From August to October 2015, 121 specimens of *Cyclopsetta chittendeni* of the Campeche Sound were captured and examined. The area included 27 sampling stations, divided into three groups: close (1-10km), mean (11-26km) and far (27-258km) according to the distances they presented with respect to the oil wells, nine sampling stations for each group of stations. A total of 44,323 parasite metazoan individuals belonging to 30 taxa were quantified. 13,513 digeneans, 27,301 cestodes, 2872 nematodes, 148 acantocephalan and 84 arthropods were found. Three species were present in all stations (27 stations): *Oncomegas wagneri*, Tetrphyllidea gen. sp. and *Lecithochirium floridense*, this last one being the most prevalent species with 80% prevalence. The component community presented a species richness of 30 species in total, 20 to 24 species per group of station, a Shannon diversity index value of 1.61 and a Pielou equitability index of 0.45. The infracommunity richness was 5.61 ± 2.29 and 362.96 ± 54.40 individuals per fish. The mean value of the Brillouin diversity index was 1.19 ± 0.36 , with a mean equitability of 0.50 ± 0.15 . The larval cestode *Lecanicephalum* sp. was the most numerically dominant species at both the component and infracommunity levels. It was found that there is a variation in the abundances of certain species and a change in the dominant species between the groups closest and furthest from oil wells. Significant statistical associations were observed between the abundance of parasitic metazoan species at the component community level and contaminants in sediments. The negative correlations between pollutants and parasites suggest that these parasites may be negatively affected by these pollutants or by proximity to oil wells.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
TABLA DE CONTENIDO	6
LISTA DE TABLAS.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
I.- INTRODUCCIÓN	10
II.- ANTECEDENTES	12
2.1 Los parásitos de peces como indicadores de contaminación	12
2.1.1 Efectos de los contaminantes sobre las poblaciones y comunidades de parásitos	14
2.2 Aspectos generales de <i>Cyclopsetta chittendeni</i> Bean, 1985	15
2.3 Características del área de estudio	16
III. JUSTIFICACION	19
IV.- HIPÓTESIS.....	20
V.- OBJETIVOS	20
5.1 General	20
5.2 Específicos	20
VI.- METODOLOGÍA.....	21
6.1. Trabajo de campo	21
6.1.1. Área de estudio	21
6.2. Trabajo de laboratorio.....	22
6.2.1. Estudio parasitológico en peces.....	22
6.2.2. Caracterización de la composición de especies de metazoarios parásitos.....	23
6.2.3. Análisis de las comunidades	23
6.2.4. Exploración de variables que pudieran estar estructurando la comunidad de parásitos.	28
VII.- RESULTADOS.....	29
7.1. Descripción morfométrica de los hospederos	29
7.2. Grandes grupos de parásitos.....	29
7.3. Parámetros de infección.....	33
7.4. Comunidad componente	34
7.5. Infracomunidad.....	34
7.6. Asociación entre variables	37

7.6.1. Análisis de redundancia.....	38
VIII.- DISCUSIÓN	41
8.1. Descripción morfométrica de los hospederos	41
8.2. Grandes grupos de parásitos.....	41
8.3. Parámetros de infección.....	43
8.4. Comunidad componente	44
8.5. Infracomunidad.....	45
8.6. Asociación estadística entre variables ambientales y biológicas	46
IX.- CONCLUSIONES	48
X.- RECOMENDACIONES	49
XI.- BIBLIOGRAFÍA	50

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.** Posición geográfica de los sitios de muestreo, profundidad (m), número de lenguados (*Cyclopsetta chittendeni*) muestreados, sus mediciones morfométricas (media \pm desviación estándar) y peso por estación agrupada según su cercanía en distancia a los pozos petroleros C (cerca)= 1-10km, M (media)= 11-26km, L (lejos)= 27-258km..... **24**
- Tabla 2.** Parásitos metazoarios del lenguado mexicano *Cyclopsetta chittendeni* de la Sonda de Campeche, entre paréntesis al lado de cada grupo se encuentra la distancia que presentan a los pozos petroleros. **30**
- Tabla 3.** Riqueza observada y estimada de las especies de metazoarios parásitos de *Cyclopsetta chittendeni* de la Sonda de Campeche por grupo de estaciones. **33**
- Tabla 4.** Características a nivel componente de las comunidades de metazoarios parásitos de *Cyclopsetta chittendeni* en 27 estaciones de la plataforma norte de la península de Yucatán. Entre paréntesis, al lado de cada grupo se encuentra la distancia que presentan a los pozos petroleros. **34**
- Tabla 5.** Características de las infracomunidades de parásitos metazoarios del lenguado mexicano *Cyclopsetta chittendeni* (n=121). Entre paréntesis, al lado de cada grupo se encuentra la distancia que presentan a los pozos petroleros..... **35**
- Tabla 6.** Diferencias significativas en similitud por ANOSIM para parásitos de *Cyclopsetta chittendeni* en grupos (C=1-10km, M=11-26km, L=27-258km) de la Sonda de Campeche. **35**
- Tabla 7.** Resultados del análisis de similitud SIMPER, entre paréntesis al lado de cada grupo se encuentra la distancia que presentan a los pozos petroleros. **37**
- Tabla 8.** Valores medios con desviación estándar (D.E.) de las variables ambientales registradas en las 27 estaciones muestreadas en la Sonda de Campeche, entre paréntesis al lado de cada grupo (C, M y L) se encuentra la distancia que presentan estas estaciones a los pozos petroleros. **38**
- Tabla 9.** Resultados generados por el Análisis de redundancia (RDA)..... **39**

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** *Cyclopsetta chittendeni* (tomado de Gutherz, 1967)..... **16**
- Figura 2.** Área de estudio..... **17**
- Figura 3.** Estaciones de muestreo en distancia a los pozos petroleros C (cerca)= 1-10km representados con círculos verdes. M (media)= 11-26km representados con cuadros morados. L (lejos)= 27-258km representados con círculos amarillos y pozos petroleros selectos (PEMEX) representados en triángulos rojos en la Sonda de Campeche..... **22**
- Figura 4.** Número de especies agrupadas por grupos de metazoarios parásitos en cada estación de muestreo..... **32**
- Figura 5.** Gráfica de acumulación de especies de metazoarios parásitos de *Cyclopsetta chittendeni* en los tres grupos de estaciones C (cerca)= 1-10km, M (media)= 11-26km, L (lejos)= 27-258km. El sombreado de cada curva representa los intervalos de confianza a un 95%, con el método de Bootstrap (999 repeticiones)..... **33**
- Figura 6.** Análisis de escala multidimensional no métrico (NMDS) (Bray Curtis) de los metazoarios parásitos del lenguado mexicano (*Cyclopsetta chittendeni*). La trama muestra patrones de semejanza de los tres grupos de estaciones muestreados C (cerca)= 1-10km, M (media)= 11-26km, L (lejos)= 27-258km..... **36**
- Figura 7.** Análisis de redundancia (RDA) que describe las asociaciones estadísticas entre las especies de metazoarios parásitos de *Cyclopsetta chittendeni* y los contaminantes detectados. La fuerza de la asociación se refleja en la longitud de las flechas. En rojo se pueden observar las especies, en azul las variables ambientales y en color negro las estaciones de muestreo., Didy= Didymozoidae (Neotorticaecum-like), Leci f= *Lecithochirium floridense*, Leca= *Lecanicephalum* sp., Tetr= Tetraphyllidea gen. sp., Onco w= *Oncomegas wagneri*, Spir c= *Spirocamallanus chetumalensis*. HAPs= Hidrocarburos aromáticos policíclicos, M. org= materia orgánica, L= limo, Sulf= sulfuro, Cu= cobre, Pb= plomo, Cr= cromo, V= vanadio y Ba= bario. La matriz de las variables explica el 54% global de la varianza. **39**

I.- INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas marinos enfrentan una variedad de factores ambientales estresantes, como la sobrepesca, la pérdida de especies de plantas y animales, la contaminación del agua y los sedimentos o las emisiones de carbono, lo cual conducen a cambios y degradación en el ambiente (Castro-Díaz & Kuna, 2007; Dsikowitzky *et al.*, 2011). Además, estos entornos reciben constantemente pesticidas, metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes (COP) como consecuencia de actividades humanas (Vidal-Martínez *et al.* 2003; 2006). En el Golfo de México, por ejemplo, la industria petrolera es una de las principales actividades económicas desde 1947 (García-Cuéllar *et al.*, 2004). La principal zona productora de petróleo y gas se encuentra ubicada en la parte sur del Golfo de México, denominada zona Marina de Campeche. Como parte de la producción de petróleo crudo se incorporan al ambiente marino vía atmosférica gases y partículas, se introducen descargas de contaminantes al mar vía acuosa, se emiten gases de efecto invernadero (CO₂) y se derraman hidrocarburos (PEMEX, 2002).

El control efectivo de estos problemas ambientales y la eliminación adecuada de contaminantes es una necesidad evidente. Sin embargo, para esto, es indispensable entender y prevenir los procesos de degradación ambiental nocivos y sus consecuencias. Una estrategia para obtener esta información es el uso de bioindicadores, los cuales son especies que reflejan el impacto ambiental porque responden a las alteraciones del hábitat con cambios en su abundancia, fisiología o composición química. La relevancia de los parásitos de los organismos terrestres y acuáticos como posibles bioindicadores de la calidad ambiental ha aumentado en los últimos años (Overstreet 1997; Dzikowski *et al.*, 2003; Hechinger *et al.*, 2007; Vidal-Martínez, 2007; Sures, 2008; Palm, 2011; Vidal-Martínez *et al.*, 2010, 2015). Varios autores han demostrado que las comunidades de parásitos como componentes de la biodiversidad son de gran importancia para todos los ecosistemas, ya que están presentes en diferentes niveles tróficos, y proveen información acerca del estrés ambiental y la estructura de la cadena alimenticia (Marcogliese, 2005; Luque, 2008; Hatcher & Dunn, 2011); su importancia radica en que, la mayoría de los parásitos metazoarios poseen ciclos de vida complejos, lo que quiere decir, que requieren de varios hospederos para completar su ciclo de vida, y sus etapas de transmisión suelen ser altamente sensibles a ligeros cambios ambientales (Dzikowski *et al.*, 2003). Al estudiar los parásitos de peces como bioindicadores podemos dividirlos en bioindicadores de efecto y bioindicadores de acumulación (Sures, 2001; Vidal-Martínez *et al.*, 2010). Los bioindicadores de acumulación son organismos individuales que acumulan y concentran altos niveles de contaminantes en sus tejidos. Durante la última década, se ha demostrado que los parásitos, a diferencia de sus hospederos (los peces), no cuentan con mecanismos efectivos de metabolización de xenobióticos, en especial metales pesados (Sures, 2004). De tal manera, que los parásitos concentran niveles más altos de contaminantes que sus hospederos, e incluso, mayor que su medio ambiente u otros organismos que también son considerados bioindicadores (Sures *et al.*, 1999; Sures &

Siddal, 1999; Sures, 2001). Por lo tanto, los parásitos acumuladores reflejan los efectos ambientales con una mayor exactitud, siendo de gran utilidad para evaluar y monitorear el nivel de afectación de un ecosistema (Marcogliese, 2005; Hudson *et al.*, 2006). Por otro lado, los bioindicadores de efecto proporcionan información sobre el estado químico, físico, biológico y ecológico de su entorno a través de su presencia o su ausencia. Los parásitos, por ejemplo, pueden aumentar o disminuir sus abundancias y diversidad de especies en respuesta a la presencia de ciertos contaminantes (Marcogliese & Cone, 1997; Vidal-Martínez *et al.*, 2003, 2006, 2010).

En el Golfo de México se han utilizado especies parasitarias para monitorear el efecto de la contaminación producida por la industria petrolera (Vidal-Martínez *et al.*, 2003, 2006), por ejemplo, Centeno-Chalé y colaboradores en el 2015 mostraron como las abundancias de helmintos intestinales son afectada de manera negativa ante la presencia de contaminantes. Otros estudios involucrando parásitos del bagre maya *Hexanematichthys similis* (Vidal-Martínez *et al.*, 2003), el camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* (Vidal-Martínez *et al.*, 2006) y el pez globo *Sphoeroides testudineus* (Pech *et al.*, 2009) también demostraron que la contaminación química influye en los parámetros de infección parasitaria. Tomando en cuenta lo anterior, se esperaba que las alteraciones sobre las comunidades de parásitos se incrementarán con la cercanía a las fuentes de la contaminación, es decir, las áreas más cercanas a los pozos petroleros donde se realiza la extracción y transporte del crudo. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar si las comunidades de metazoarios parásitos del lenguado mexicano (*Cyclosetta chittendeni*) presentan diferencias en relación con la distancia donde fueron colectados respecto a los pozos petroleros en la Sonda de Campeche.

II.- ANTECEDENTES

2.1 Los parásitos de peces como indicadores de contaminación

Los parásitos son organismos que se benefician de otros denominados hospederos, de tal manera que el hospedero proporciona recursos para el crecimiento y desarrollo del parásito, dando lugar a lo que llamamos parasitismo (Price, 1980). El parasitismo es una de las formas de vida más antiguas que existe (Morand & Krasnov, 2010). Este tipo de simbiosis influye sobre la dinámica de los hospederos modificando su presencia, abundancia y éxito reproductivo, afectando la cadena trófica y el ecosistema que los involucra (Mouritsen & Poulin, 2002; Thompson *et al.*, 2005).

Las comunidades de metazoarios parásitos se estudian de manera jerárquica en sus hospederos, esto se debe a que se encuentran en diferentes niveles comunitarios. Entre los niveles que podemos encontrar a los parásitos tenemos a la infracomunidad, que son todos los parásitos presentes en un individuo de una especie hospedero determinada (Holmes & Price, 1986). La comunidad componente incluye a todas las especies de parásitos en una población de hospederos (o en una muestra de estos) y la comunidad compuesta está representada por todas las especies de parásitos presentes en una comunidad de hospederos dentro de un ecosistema (Holmes & Price, 1986; Esch & Fernández, 1993).

El estudio de las comunidades de parásitos es de gran importancia para los ecosistemas, ya que pueden brindar información sobre la biología de sus hospederos y las condiciones ambientales en donde éstos se encuentran (Williams *et al.*, 1992). En las pesquerías estas comunidades pueden utilizarse como marcadores biológicos para la determinación de un stock (MacKenzie & Abaunza, 1998; Poulin *et al.*, 2015). La presencia de estas comunidades parasitarias contribuye a la biodiversidad de los diferentes ecosistemas (Luque, 2008; Bautista-Hernández *et al.*, 2013) y en los niveles tróficos, modifica y aumenta la complejidad de las cadenas tróficas proporcionando una mayor transmisión de energía (Marcogliese, 2002; Dunne *et al.*, 2013). Incluso puede indicarnos el estado del ambiente ante posibles daños antropogénicos como derrames petroleros o fenómenos naturales como huracanes (Lafferty, 1997; Dzikowski *et al.*, 2003; Vidal-Martínez *et al.*, 2010; Aguirre-Macedo *et al.*, 2011; Lacerda *et al.*, 2018).

La importancia de las comunidades de parásitos como indicadores de la salud de un ecosistema, radica en el impacto del estrés físico que los parásitos causan en el hospedero. La modificación de las interacciones competitivas y tróficas entre las especies a las cuales los parásitos afectan en términos de abundancia y por lo tanto la interacción con otras especies, modificando de esta manera la forma en que la energía fluye a través del ecosistema (Hudson, *et al.*, 2006).

El uso de las comunidades de parásitos como indicadores de contaminación, se debe a que son muy sensibles a bajas concentraciones de contaminación. Por lo tanto, la exposición de los miembros sensibles a la contaminación en estas comunidades modifica su composición y estructura a largo plazo como respuesta a su exposición con los contaminantes (Siddall & Desclers, 1994; Sures, 2004); además, las comunidades de parásitos suelen presentar efectos significativos ante cambios en las condiciones ambientales (Koprivnikar *et al.*, 2006; Sasal *et al.*, 2007). En lo que concierne a los parásitos como indicadores de acumulación, estos son buenos candidatos para procesos de bioacumulación y/o biomagnificación de ciertos contaminantes, en especial metales pesados e hidrocarburos (Sures, 2007; Soler-Jiménez *et al.*, 2020).

Las comunidades parasitarias de peces planos han sido estudiadas como posibles indicadores de contaminación antropogénica, debido a que al ser peces de hábitos bentónicos se encuentran en constante contacto con el sedimento, donde se depositan los contaminantes. Por consiguiente, su exposición a estos compuestos es continua. Estas comunidades parasitarias han demostrado variaciones causadas por la exposición a contaminantes (Caballero & Tello, 1992; Siddal & Desclers, 1994; Marcogliese *et al.*, 1998; Centeno-Chale *et al.*, 2015; Vidal-Martínez *et al.*, 2019). Estas variaciones pueden deberse a la inmunosupresión de los hospederos (Lafferty & Kuris, 1999) o a la poca resistencia de los parásitos a ciertos contaminantes encontrados en los hospederos o en el medio ambiente (Sures, 2004).

Las comunidades de metazoarios parásitos que parasitan a *C. chittendeni*, han sido poco descritas. El trabajo de Centeno-Chalé y colaboradores en el 2015, reportó 17 especies de helmintos parásitos en la Sonda de Campeche. El estudio de Soler-Jiménez y colaboradores, 2020 demostró que el cestodo *Oncomegas wagneri* que parasita a *C. chittendeni* resultó ser un buen indicador para medir los niveles de contaminación en los lugares donde habita al presentar mayores concentraciones de metabolitos de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) que sus hospederos.

Aunque los trabajos realizados con los parásitos de *C. chittendeni* son pocos, existen estudios realizados con otros peces planos en los cuales sus comunidades parasitarias han funcionado como buenos indicadores de los cambios en diferentes sitios. Vidal-Martínez y colaboradores en el 2014 mostraron que las métricas de la comunidad parasitaria se pueden utilizar como indicadores de salud ambiental; describieron las comunidades de parásitos del lenguado *Syacium gunteri* y determinaron los umbrales potenciales por encima de los cuales los contaminantes ambientales se convierten en factores que determinan las métricas de las comunidades de parásitos. Las métricas de la comunidad de parásitos elegidas presentaron asociaciones estadísticamente significativas con las variables fisicoquímicas y los contaminantes. Otro trabajo realizado por Vidal-Martínez y colaboradores (2019) mostró que la comunidad parasitaria del lenguado *Syacium papillosum* podía ser utilizada para

determinar la probabilidad de ocurrencia de sus especies mediante asociaciones estadísticas con los contaminantes y las variables ambientales.

En cuanto a los trabajos realizados en parásitos en la Sonda de Campeche, Vidal-Martínez y colaboradores (2006) reportaron que los hidrocarburos, pesticidas y metales pesados en el agua y sedimento tuvieron efectos negativos sobre las comunidades de simbiontes y helmintos parásitos del camarón *Farfantepenaeus duorarum*. Caballero y Tello en 1992 realizaron un trabajo en el Golfo de México en el que demostraron que, en las zonas cercanas a las plataformas de extracción de petróleo la abundancia de helmintos (específicamente de trematodos de peces de la familia Bothidae) disminuyó, atribuyéndolo al desequilibrio en el ciclo de vida de este parásito a causa del ácido sulfhídrico presente debido a la actividad petrolera.

Tomando como referencia lo antes mencionado, se pretende utilizar a los metazoarios parásitos del lenguado mexicano *C. chittendeni* como indicadores de contaminación en las zonas más cercanas y lejanas a pozos petroleros de la Sonda de Campeche.

2.1.1 Efectos de los contaminantes sobre las poblaciones y comunidades de parásitos

En la última década se han realizado varias investigaciones con comunidades de parásitos de peces mostrando que las variaciones (disminución o aumento de sus comunidades) son consecuencia de la presencia de diferentes contaminantes: Siddall y colaboradores (1997) encontraron una reducción de abundancia y especies de monogéneos en *Rutilus rutilus* a causa de efluentes industriales. Yeomans y colaboradores (1997) reportaron un incremento en la densidad de protozoarios Trichodina en el hospedero *Gasterosteus aculeatus* debido a contaminantes orgánicos. Faulkner y Lochmiller (2000) reportaron una reducción de especies en la comunidad parasitaria de *Sigmodon hispidus* a causa de petroquímicos. Halmetoja y colaboradores (2000) mostraron una reducción en la diversidad de parásitos de *Perca fluviatilis* a causa de la acidificación. Lefcort y colaboradores (2002) reportaron una baja diversidad en la comunidad de parásitos de los hospederos *Physella columbiana* y *Lymnaea palustris* debido a la presencia de metales pesados. Billiard y Khan (2003) reportaron un incremento en la prevalencia de acantocéfalos en *Tautoglabrus adspersus* debido a efluentes municipales e industriales.

Las evidencias de los impactos por contaminación por petróleo en distintos organismos, incluyendo los parásitos respaldan el uso de los parásitos de peces planos como buenos indicadores de contaminación. Caballero y Tello (1992) reportaron un efecto negativo (disminución de abundancia) en los trematodos que parasitaban a la familia Bothidae debido a los hidrocarburos presentes en el agua. Marcogliese y colaboradores (1998) realizaron un estudio en Canadá en donde demostraron que los hidrocarburos y bifenilos policlorados en

los sedimentos afectaban a los helmintos parasitarios de *Hippoglossoides platesoides* de manera positiva (aumento en abundancia). Schmidt y colaboradores (2003) reportaron el efecto de los metales y bifenilos policlorados en diferentes grupos de parásitos, en nematodos y digeneos el efecto fue negativo (disminución de abundancia) mientras que en acantocéfalos el efecto fue positivo (aumento en abundancia) en el hospedero *Platichthys flesus*.

Algunos estudios como el realizado por Centeno y colaboradores (2015) han demostrado que la cercanía a derrames y pozos petroleros influye en las comunidades de parásitos. Las concentraciones de metabolitos presentes en el agua afectan e influyen las concentraciones de metabolitos que se encuentran en los organismos debido a la cercanía. Soler-Jiménez y colaboradores (2020) demostraron que los metabolitos se acumulan en mayor cantidad en los parásitos que en sus hospederos.

2.2 Aspectos generales de *Cyclopsetta chittendeni* Bean, 1985

La familia Paralichthyidae está conformada por 116 especies agrupadas en 14 géneros: *Ancylopsetta* (Gill, 1864), *Cephalopsetta* (Dutt y Rao, 1965), *Citharichthys* (Bleeker, 1862), *Etropus* (Jordan & Gilbert, 1882), *Gastropsetta* (Bean, 1895), *Hippoglossina* (Steindachner, 1876), *Paralichthys* (Girard, 1858), *Pseudorhombus* (Bleeker, 1862), *Syacium* (Ranzani, 1842), *Tarphops* (Jordan & Thompson, 1914), *Tephrinectes* (Günther, 1862), *Thysanopsetta* (Günther, 1880), *Xystreurys* (Jordan & Gilbert, 1880) y *Cyclopsetta* (Gill, 1889). Esta familia está incluida en el orden de los pleuronectiformes, la mayoría de las especies son marinas y están distribuidos en los océanos Atlántico, Índico y Pacífico en latitudes tropicales y templadas (Nelson, 1994).

El género *Cyclopsetta* está compuesto por cuatro especies, *Cyclopsetta chittendeni*, *Cyclopsetta querna*, *Cyclopsetta fimbriata*, y *Cyclopsetta panamensis* (Froese & Pauly, 1999).

Cyclopsetta chittendeni o mejor conocido como lenguado mexicano, presenta tres manchas grandes a lo largo del margen posterior de la aleta caudal; una mancha negra grande en la aleta pectoral. Posee tres y dos manchas grandes en las aletas dorsal y anal respectivamente. Su longitud varía de 25-32cm. Su cuerpo es ovalado y moderadamente alargado. La aleta dorsal se origina claramente en la parte frontal de los ojos. Presenta los ojos en el lado izquierdo, no grandes, su diámetro es de 5 a 5.9 veces la longitud de la cabeza. El espacio interorbital es estrecho, menos de la mitad del diámetro del ojo. La línea lateral en el lado de los ojos no está muy arqueada por encima de la aleta pectoral. Presenta un total de 82-90 radios blandos dorsales y de 63-69 radios blandos anales (Randall & Vergara, 1978; Munroe, 2002; Ayala-Pérez *et al.*, 2015) (Figura 1).

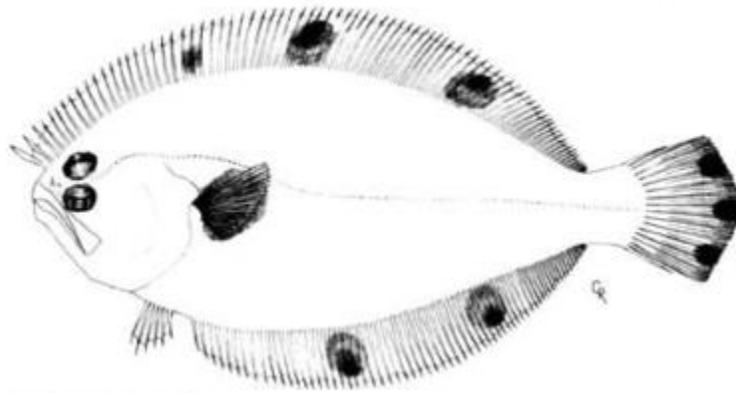


Figura 1. *Cyclopsetta chittendeni* (tomado de Guthertz, 1967)

Cyclopsetta chittendeni se encuentra distribuido en climas subtropicales, en el Atlántico occidental, desde el noroeste del Golfo de México hasta las costas de Brasil (Eschmeyer, 1998). Habitan en bahías, lagunas y aguas costeras poco profundas con fondos blandos de arena suave (Cervigón *et al.*, 1992). Se han localizado comúnmente a profundidades de 20 a 150m y se ha registrado hasta 230m (Ayala-Pérez *et al.*, 2015). En los primeros estadios de vida en el desarrollo, *C. chittendeni* presenta un comportamiento pelágico, que cambia a bentónico conforme el pez crece. Su alimentación es carnívora, basándose principalmente en invertebrados y peces pequeños (Randall & Vergara, 1978; Halpern & Floeter, 2008).

2.3 Características del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada entre dos provincias geológico-sedimentarias (Figura 2) (Antoine & Gilmore, 1970): al oeste la provincia "Bahía de Campeche" con sedimentos de tipo terrígeno-clástico. Al este la provincia denominada "Banco de Campeche", caracterizada por sedimentos calcáreos provenientes de la plataforma carbonatada de Yucatán, y que se extiende en un área de aproximadamente 90000 km² desde los 200 m de profundidad hasta la línea de playa frente a las costas de Tabasco y Campeche. La circulación litoral se basa en el intercambio de agua oceánica y costera, la descarga fluvial y la transición de materiales terrígenos calcáreos (Sánchez-Gil *et al.*, 1981; Yáñez-Arancibia & Sánchez-Gil, 1983). Estas características condicionan un sistema sedimentario con comunidades biológicas dominadas por organismos detritívoros que contribuyen a la descomposición y al reciclado de los nutrientes, lo cual es importante cuando se busca establecer los problemas asociados a las actividades petroleras y se pretende medir los cambios en el tiempo y espacio y los límites máximos para la absorción de los impactos (González-Macías, 1997).

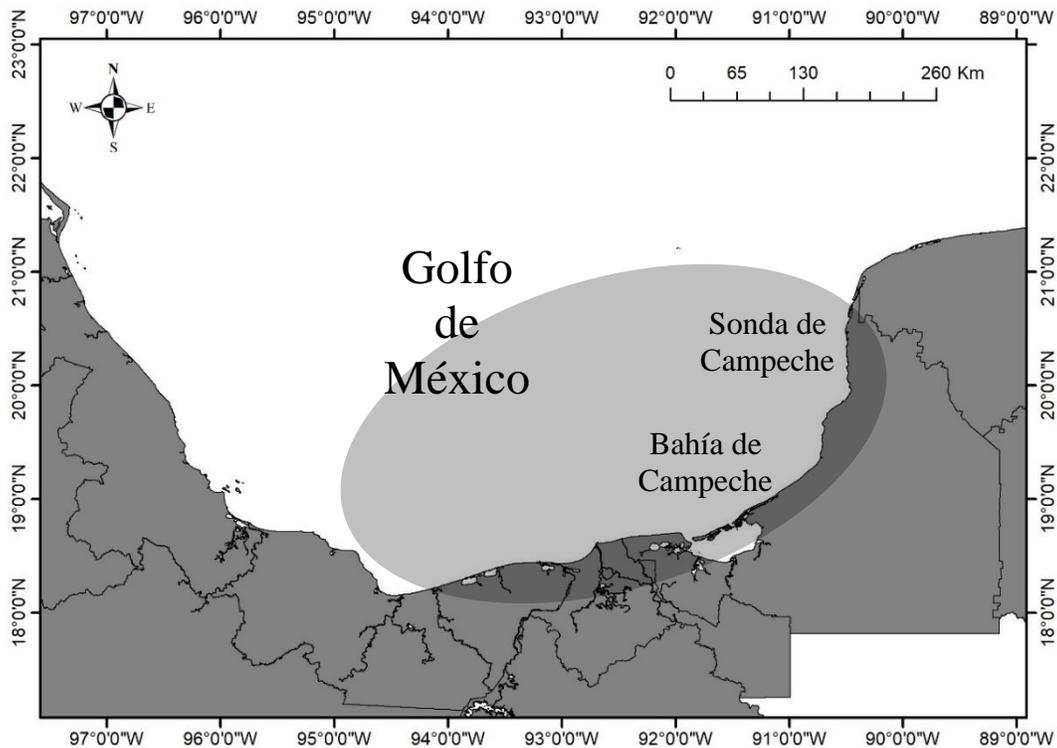


Figura 2. Área de estudio

La temperatura promedio del agua en la superficie es de 27.4°C ($\pm 0.41^{\circ}\text{C}$) y en el fondo de 27.2°C ($\pm 0.27^{\circ}\text{C}$), con poca variación entre ambas (León-Hernández, 2009). Los patrones de circulación se establecen con base a una rama de la Corriente de Lazo, la cual forma un giro ciclónico dentro de la Sonda de Campeche (Capurro, 1972). Las corrientes, a una distancia no mayor de 180 km mar adentro, están influenciadas por los vientos dominantes: en verano se dirigen al Noroeste y en invierno cambian hacia el Sureste. Este cambio se ve influenciado por el flujo de agua proveniente de la Corriente de Lazo, que, al mezclarse con el giro ciclónico lo desvía hacia el Este (Martínez-López & Parés-Sierra, 1998; Gómez & De León, 2012). En la parte sur de la plataforma las interacciones frontales ocurren entre las descargas de los ríos y el agua oceánica (Czitrom *et al.*, 1986; Carranza-Edwards *et al.*, 1993).

La Sonda de Campeche es una zona de las más importantes de la Plataforma Continental por la explotación y extracción de hidrocarburos y por su gran potencial para el aprovechamiento de recursos pesqueros y acuícolas (Yáñez-Arancibia, 1986., SAGARPA, 2016). Se han reportado 320 especies de peces (Yáñez-Arancibia & Sánchez-Gil, 1988), y sobre esta alta diversidad inciden dos grandes tipos de explotación: la flota camaronera de arrastre, cuya captura en el año 2001 alcanzó 4075 toneladas, y una flota artesanal o ribereña que opera sobre la plataforma continental y cuyas capturas para el mismo periodo fueron

cercanas a 42000 toneladas, comprendiendo principalmente recursos de escama y moluscos (CONAPESCA, 2002).

En la Sonda de Campeche se producen dos tipos de petróleo crudo: El crudo ligero de tipo “Itsmo” y el crudo pesado de tipo “Maya” (de mayor producción). Cada tipo de petróleo tiene características específicas diferentes que influyen en la predicción del comportamiento del petróleo (procesos de intemperismo), el riesgo e impacto que estos crudos poseen hacia los recursos naturales (toxicidad y potencial de bioacumulación) y la velocidad de recuperación de los hábitats dañados y grupos de especies asociados (Hayes *et al.*, 1992; NOAA, 1993; Dicks, 1998; IMP, 2000).

La Sonda de Campeche cuenta con un total de 200 instalaciones para la extracción y procesamiento del petróleo crudo y gas natural, que incluye 9 campos petroleros principales y 185 plataformas de producción (PEMEX, 2003). La intensa actividad que desarrolla PEMEX implica la posibilidad de impactos de contaminación por petróleo y sus derivados en el medio ambiente marino, asociados a los procesos de exploración, producción en altamar, transporte marítimo y submarino, operaciones de embarque y almacenamiento, accidentes en operaciones como rupturas de los oleoductos submarinos, accidentes de buques-tanque, derrames y explosiones de plataformas (García-Cuéllar *et al.*, 2004).

Durante el manejo de instalaciones y operaciones petroleras ocurren accidentes de diversas magnitudes. Entre los accidentes destaca lo sucedido en el pozo IXTOC-I, suscitado en 1979 (derrame aproximado de 560 millones de litros de petróleo), Abkatun en 1986 (no se determinó la cantidad de crudo derramado), YUM II/Zapoteca en 1987, Och en 1988 (PEMEX, 1993) y el más reciente en la plataforma Kab-101 ocurrido el 23 de octubre de 2007, en el que se presentó una fuga de gas y petróleo crudo ligero (37.5° API) en el árbol de válvulas del pozo Kab-121. La estimación del volumen de la fuga (55 días después de haber sido controlada) fue de 0.7 millones de pies cúbicos por día (MMpcd) de gas y 422 barriles por día (bpd) de petróleo, con un volumen aproximado de derrame de 3 millones de litros de petróleo al 17 de diciembre de 2007.

III. JUSTIFICACION

Con el propósito de contribuir a las investigaciones que se realizan en la Sonda de Campeche para la identificación de ambientes contaminados, el presente estudio tiene la finalidad de observar los cambios en las métricas de las comunidades parasitarias que podrían estar siendo causados por los contaminantes presentes en los sitios cercanos a los pozos petroleros. Se contemplaron los lenguados de la especie *C. chittendeni* ya que son organismos que se encuentra habitando el fondo marino de la zona y están en contacto directo con los contaminantes que se acumulan en el sedimento, así como las características fisicoquímicas y contaminantes del sedimento.

IV.- HIPÓTESIS

Las comunidades de parásitos del lenguado mexicano (*Cyclopsetta chittendeni*) presentarán diferencias en su composición y estructura según su cercanía a pozos petroleros selectos en la Sonda de Campeche.

V.- OBJETIVOS

5.1 General

Determinar si las comunidades de parásitos del lenguado mexicano (*Cyclopsetta chittendeni*) presentan diferencias en composición y estructura entre grupos de estaciones de muestreo según la distancia a pozos petroleros selectos en la Sonda de Campeche.

5.2 Específicos

Determinar los parámetros de infección (prevalencia y abundancia media) de los parásitos metazoarios del lenguado mexicano *Cyclopsetta chittendeni*.

Caracterizar las comunidades de metazoarios parásitos del lenguado *C. chittendeni* a nivel infracomunidad y componente de comunidad.

Determinar si la distancia geográfica a pozos petroleros influye en los métricos de las infracomunidades y comunidad componente de *C. chittendeni*.

Analizar si las variaciones observadas en la composición y estructura de las comunidades de metazoarios parásitos del lenguado *C. chittendeni* están estadísticamente asociadas con la ubicación espacial de los pozos petroleros.

VI.- METODOLOGÍA

6.1. Trabajo de campo

Se obtuvieron muestras de *Cyclopsetta chittendeni* entre agosto y octubre de 2015 a profundidades de entre 10 y 175 m, utilizando redes de arrastre camaroneras comerciales de 20 m de largo. El tiempo de arrastre fue de 50–60 min a 0.6–0.7 nudos alrededor de cada estación. Las muestras fueron obtenidas desde el buque oceanográfico (OV) Justo Sierra. Un total de 121 lenguados mexicanos (*C. chittendeni*), fueron recolectados, congelados (-20° C) individualmente en bolsas plásticas y transportados al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) unidad Mérida para su examen parasitológico.

Las muestras de sedimento se obtuvieron utilizando botellas de plástico Niskin de 20 l dispuestas en una roseta. Estas botellas se cerraron electrónicamente bajo agua para evitar la contaminación con mezclas de superficie. El sedimento colectado se colocó en bolsas de polietileno de alta densidad (HDPE) y se conservaron en hieleras a 4° C para su transporte a los laboratorios de Geoquímica y Química Marina del CINVESTAV unidad Mérida para los análisis correspondientes.

6.1.1. Área de estudio

El área de estudio incluyó 27 estaciones de muestreo en la plataforma continental de la Sonda Campeche, sur del Golfo de México (Fig. 3).

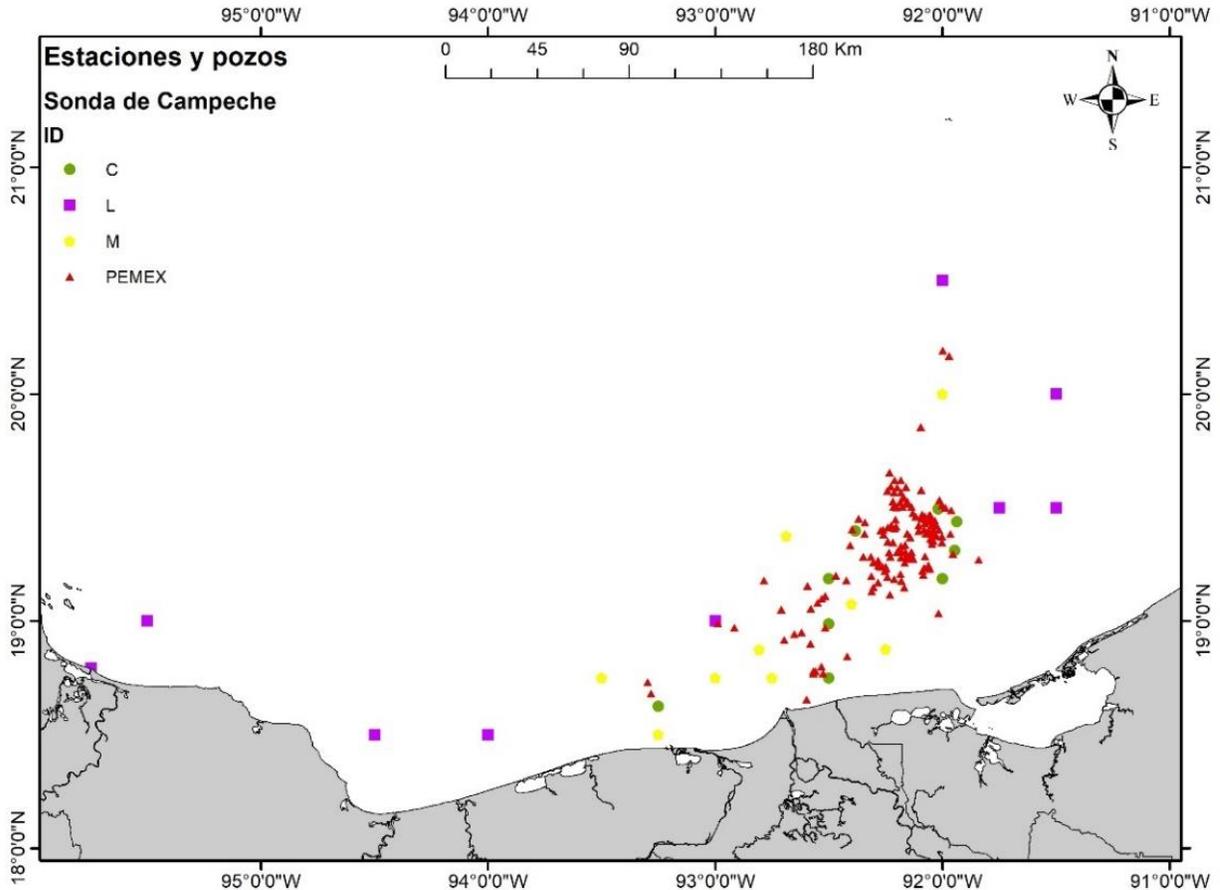


Figura 3. Estaciones de muestreo en distancia a los pozos petroleros C (cerca)= 1-10km representados con círculos verdes. M (media)= 11-26km representados con cuadros morados. L (lejos)= 27-258km representados con círculos amarillos y pozos petroleros selectos (PEMEX) representados en triángulos rojos en la Sonda de Campeche.

6.2. Trabajo de laboratorio

6.2.1. Estudio parasitológico en peces

A cada pez se le tomaron medidas morfométricas, longitud total (cm) que va del extremo anterior de la boca hasta el extremo posterior de la aleta caudal, longitud patrón o estándar (cm) que va de la parte anterior de la boca hasta la parte posterior del pedúnculo caudal (doble del complejo hipural), altura máxima (cm) que va de la base de la parte ventral hasta la base de la parte dorsal y el peso (g).

Posteriormente se realizó un examen parasitológico completo. Los peces se disectaron y con ayuda de dos placas de vidrio de 12 cm de largo por 10 cm de ancho y 4 mm de espesor se examinaron los órganos internos y externos. Bajo el microscopio estereoscópico, se revisaron en primera instancia los órganos externos (ojos, escamas, aletas

y cavidades como branquias y narinas) en busca de ectoparásitos, seguido de los órganos internos (corazón, riñón, cerebro, bazo, hígado, estómago, intestinos y músculos) en busca de endoparásitos, cada órgano fue separado en cajas de Petri para evitar la confusión de los sitios de alojamiento y se les agregó solución salina al 0.7%. Los parásitos recuperados se registraron de acuerdo con los órganos en que se encontraron, se contaron, fijaron y tiñeron. Los nemátodos, céstodos y trematodos se fijaron con formalina al 4% y los acantocéfalos en alcohol al 70%. Los trematodos, cestodos, y acantocéfalos se tiñeron con la técnica de Paracarmin de Mayer y los nematodos se aclararon con solución de glicerina-agua a diferentes diluciones (1:10, 1:5 y 1:2). Todo esto para identificar el material hasta el nivel taxonómico más preciso posible. Se emplearon claves especializadas, así como literatura específica para cada grupo de parásitos (Yamaguti, 1971; Moravec *et al.*, 1997; Vidal-Martínez *et al.*, 2002; Centeno-Chalé *et al.*, 2015).

6.2.2. Caracterización de la composición de especies de metazoarios parásitos.

6.2.2.1 Parámetros poblacionales de infección (o caracterización de la infección).

Para cada especie de parásito se calcularon los siguientes parámetros de infección según Bush *et al.*, (1997):

a) Prevalencia: expresa la proporción en porcentaje del número de individuos de una especie de hospederos infectados con una especie de parásito.

$$\text{Prevalencia (\%)} = \frac{\text{Núm.de ind.de hosp.infectados}}{\text{Número de hospederos examinados}} \times 100$$

b) Abundancia media: número total de individuos de una especie en particular de parásito, en una muestra de hospederos de una especie en particular, dividido entre el número total de hospederos examinados, siempre acompañado de la desviación estándar.

$$\text{Abundancia media} = \frac{\text{Número total de parásitos colectados}}{\text{Número total de hospederos examinados}}$$

6.2.3. Análisis de las comunidades

Las comunidades de parásitos presentes en el lenguado se estudiaron en dos niveles jerárquicos: comunidad componente e infracomunidad. Los parámetros cuantitativos utilizados fueron los propuestos por Bush y colaboradores (1997). Los parámetros fueron comparados en general (todas las estaciones) y por grupos de estaciones. Esta división fue determinada por la distancia entre las estaciones y los pozos petroleros, se denominó “grupo C (cerca)” a las nueve estaciones (1C, 2C, 3C, 4C, 5C, 6C, 7C, 8C y 9C) que se encontraban

entre 1.87 a 7.68 km de distancia a los pozos; “grupo M (media)” a las nueve siguientes estaciones (10M, 11M, 12M, 13M, 14M, 15M, 16M, 17M y 18M) ubicadas entre 11.28 a 25.69 km y “grupo L (lejos)” a las nueve estaciones de muestreo (19L, 20L, 21L, 22L, 23L, 24L, 25L, 26L y 27L) más alejadas a los pozos petroleros entre 27.18 a 257.51 km. Esta estimación de distancias fue realizada tomando como referencia la posición geográfica de los pozos y los sitios de muestreo. Se midió con la herramienta geográfica Google earth la distancia entre estos. Aunque el número de estaciones fue el mismo en cada grupo (C, M y L) el número de peces muestreados varió entre zonas (Tabla. 1).

Tabla 1. Posición geográfica de los sitios de muestreo, profundidad (m), número de lenguados (*Cyclopsetta chittendeni*) muestreados, sus mediciones morfométricas (media \pm desviación estándar) y peso por estación agrupada según su cercanía en distancia a los pozos petroleros C (cerca)= 1-10km, M (media)= 11-26km, L (lejos)= 27-258km.

Estación	Longitud	Latitud	Profundidad	Número de peces por estación	Longitud estándar (cm)	Peso (g)	Número de parásitos por estación
1C	-91°56'48.06"	19°18'43.02"	32	4	24.60 \pm 3.96	325.25 \pm 230.34	3095
2C	-92°23'03.40"	19°23'47.09"	76	4	23.50 \pm 3.48	224.50 \pm 99.68	1493
3C	-92°01'10"	19°29'34"	50	4	17.70 \pm 3.12	97.25 \pm 56.54	548
4C	-92°30'02.51"	18°59'14.57"	32	5	28.00 \pm 2.34	501.80 \pm 185.07	1547
5C	-92°45'00"	18°45'00"	25	5	16.80 \pm 0.57	84.80 \pm 14.04	258
6C	-92°30'00"	19°11'15"	26	5	19.90 \pm 1.51	136.00 \pm 31.33	374
7C	-91°56'15"	19°26'15"	43	5	21.50 \pm 1.11	172.40 \pm 24.81	3435
8C	-92°00'00"	19°11'15"	62	4	21.70 \pm 5.04	195.75 \pm 91.60	809
9C	-93°15'00"	18°37'30"	28	4	22.70 \pm 1.50	228.25 \pm 57.42	2795
10M	-92°24'01.16"	19°04'29.50"	30	5	26.20 \pm 5.83	494.00 \pm 339.87	1206
11M	-92°48'22.52"	18°52'24.25"	32	5	25.90 \pm 2.53	324.00 \pm 111.32	1532
12M	-92°15'00"	18°52'30"	27	5	19.50 \pm 6.76	180.20 \pm 154.95	144
13M	-92°00'00"	20°00'00"	74	5	21.10 \pm 0.89	166.80 \pm 24.84	6414
14M	-92°45'00"	18°45'00"	18	5	26.70 \pm 6.98	287.20 \pm 120.87	913
15M	-93°15'00"	18°30'00"	22	5	22.60 \pm 3.07	200.80 \pm 72.23	284
16M	-93°30'00"	18°45'00"	84	3	23.10 \pm 4.64	118.16 \pm 75.16	535
17M	-92°41'15"	19°22'30"	175	4	21.10 \pm 3.61	300.62 \pm 0.94	1086
18M	-93°00'00"	18°45'00"	38	4	26.00 \pm 2.85	334.00 \pm 78.42	649
19L	-91°45'00"	19°30'00"	41	5	22.20 \pm 2.07	195.60 \pm 39.39	1711
20L	-92°00'00"	20°30'00"	47	5	23.40 \pm 1.08	255.80 \pm 38.46	8253
21L	-93°00'00"	19°00'00"	120	4	20.70 \pm 3.75	169.00 \pm 100.85	177
22L	-91°30'00"	19°30'00"	30	5	22.00 \pm 0.93	217.80 \pm 98.61	1085
23L	-91°30'00"	20°00'00"	30	5	21.00 \pm 3.98	180.00 \pm 65.92	1474
24L	-94°00'00"	18°30'00"	49	5	22.50 \pm 5.43	220.40 \pm 84.41	2813
25L	-94°30'00"	18°30'00"	67	3	22.60 \pm 1.44	201.66 \pm 32.14	512
26L	-95°30'00"	19°00'00"	165	3	21.30 \pm 3.32	193.33 \pm 63.89	360
27L	-95°44'53"	18°47'30.99"	10	5	25.10 \pm 3.24	282.60 \pm 88.39	821
Total de peces				121	Total de parásitos		44323

6.2.3.1. Comunidad componente

Los descriptores utilizados a nivel de comunidad componente fueron:

a) **Riqueza específica:** número total de especies presentes en la comunidad de parásitos de una muestra de peces colectados.

b) **Dominancia numérica:** se calculó con el índice no-paramétrico de Berger-Parker, el cual mide la proporción de la especie más abundante, con respecto al total de los individuos recolectados.

$$d = \frac{Nm_{\max}}{N_T}$$

Donde:

N_{\max} es el número de individuos de la especie de parásitos más abundante.

N_T es el número total individuos de todas las especies en la estación muestreada.

c) **Diversidad:** calculada por el índice de Shannon-Wiener, debido a que la muestra de hospederos colectados forma parte de una población de peces no completamente censada (Pielou, 1975). El índice de Shannon-Weiner está definido por:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log p_i$$

Donde p_i es la proporción de la especie i en la comunidad.

d) **Equidad de Pielou:** mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Se obtiene un valor de 0 a 1, mientras el valor sea más cercano a 1 las especies presentan abundancias más similares.

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}}$$

Donde $H'_{\max} = \ln(S)$, S es el número total de especies

Los parámetros de la comunidad componente e infracomunidad fueron calculados con la paquetería “BiodiversityR” (Kindt & Coe, 2005).

6.2.3.2. Infracomunidad

Para los descriptores de la infracomunidad de los metazoarios parásitos, a este nivel se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

a) Riqueza: se calculó como el número promedio de especies \pm la desviación estándar (D.E.) de parásitos por pez.

b) El número promedio de individuos: se calculó como el número de parásitos por pez examinado \pm la desviación estándar (D.E.) de individuos por pez.

c) Dominancia: se calculó con el índice no-paramétrico de Berger-Parker, igual que en la comunidad componente, con la variante que se presenta como el promedio de la dominancia de todas las infracomunidades en una estación más menos su desviación estándar (\pm D.E.).

$$d = \frac{N_{\text{máx}}}{N_T}$$

Donde:

$N_{\text{máx}}$ es el número de individuos de la especie dominante de la infracomunidad.

N_T es el número total de individuos en un pez.

d) Diversidad: calculado por el índice de diversidad de Brillouin, ya que es usado para las comunidades completamente censadas (cada infracomunidad, donde se conoce el número total de individuos para esta comunidad) y es sensible a la presencia de especies raras (Pielou, 1975). Se expresa por el promedio (\pm D.E.) de todas las infracomunidades en una estación muestreada.

$$HB = \frac{\ln N - \sum \ln ni!}{N}$$

Donde:

N es el número de individuos totales.

ni el número de individuos de la especie i .

e) Equidad: la equidad de Brillouin se obtiene por la siguiente formula y al igual que el índice de Brillouin, se expresa por el promedio (\pm D.E.).

$$E = \frac{HB}{HB_{\text{max}}}$$

$$\text{En donde } HB_{max} = \frac{1}{N} \ln \frac{N!}{([N/S]!)^{s-r} ([N/S]+1)!^r}$$

Adicionalmente para una caracterización más completa de las comunidades de parásitos se clasificaron de la siguiente manera:

Ge= parásito generalista o U= estado desconocido.

Se clasificaron como generalistas a todas las especies de parásitos que tienen la posibilidad de parasitar y desarrollarse en varias familias de hospederos (Kennedy y Bush, 1986).

-Según su desarrollo

A= parásito adulto o L= parásito larvario

- Según su ubicación en el cuerpo del hospedero

F= aletas, G= branquias, I= intestino, Me= mesenterios, M= músculo, DT= tracto digestivo y S=estómago

6.2.3.3. Análisis estadísticos

Los descriptores de la infracomunidad fueron calculados por pez y para cada una de las estaciones, se presentan en conjunto y por grupos. Se determinó si existían diferencias estadísticas en número de especies y número de individuos de parásitos a nivel infracomunidad entre grupos.

Para determinar si la composición de especies es diferente entre los grupos, se procedió a realizar un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) para un acercamiento visual. Posteriormente, se procedió a realizar un análisis de similitud (ANOSIM) para determinar estadísticamente si existen o no diferencias en la composición de especies.

Un análisis de porcentaje de similitud SIMPER (“Similarity percentages”) fue realizado, con el objetivo de determinar cuál de las especies contribuyen más en la estructura de la comunidad por grupos. Para este análisis, los datos fueron transformados a raíz cuarta y se utilizó una matriz de similitud Bray-Curtis. Los análisis fueron realizados en el software PRIMER v7.

Para la comparación de los descriptores de la comunidad, se aplicaron las pruebas estadísticas de normalidad y homocedasticidad. Para determinar si los datos se ajustan o no a una distribución normal se aplicó una prueba de Kolmogorov-Smirnov con la corrección

de Lilliefors (Seefeld & Linder, 2007). La homogeneidad de varianza (homocedasticidad) fue calculada por la prueba de Levene. En caso de que los datos se ajustan a la normalidad y a la homocedasticidad, las diferencias entre las medias de los distintos parámetros se determinaron con un análisis de varianza ANOVA. Caso contrario, si los datos no se ajustaron a la normalidad, el análisis utilizado fue la prueba de Kruskal-Wallis (alternativo al ANOVA) (Sokal & Rohlf, 2012), los cuales fueron calculados con la ayuda de la programación lenguaje R (versión 4.0.3) utilizando el paquete “vegan” (Oksanen *et al.*, 2013). Todos los supuestos estadísticos fueron sometidos a prueba a un nivel de significancia de 0.05.

6.2.4. Exploración de variables que pudieran estar estructurando la comunidad de parásitos.

Las variables tomadas del sedimento para ser analizadas y determinar posibles asociaciones con la estructura de la comunidad de parásitos fueron las siguientes: HAPs (Hidrocarburos aromáticos policíclicos), materia orgánica, limo, arcilla, sulfuro, cobre (Cu), plomo (Pb), cromo (Cr), vanadio (V) y bario (Ba) debido a que estas fueron las variables que no presentaban colinealidad entre ellas y fueron las más asociadas a la extracción petrolera.

Todas las variables antes mencionadas se obtuvieron para cada punto de muestreo. Las variables fueron seleccionadas después de utilizar la función *vif* de la paquetería “vegan” del lenguaje de programación R (versión 3.4.0). Esta función valora el grado de colinealidad entre variables (con un valor mayor a 10 presenta colinealidad).

Posteriormente, se aplicó un análisis de redundancia (RDA) mediante el software primer para encontrar posibles asociaciones entre las variables y las abundancias de los parásitos con 999 permutaciones utilizando la profundidad como covariable. La significancia de los estadísticos fue establecida a 0.05.

VII.- RESULTADOS

7.1. Descripción morfométrica de los hospederos

Se capturaron y examinaron un total de 121 lenguados mexicanos (*Cyclopsetta chittendeni*) de la Sonda de Campeche. El número de peces capturados varió de tres a cinco ejemplares por estación. La longitud estándar de los peces varió de 13 a 36 cm (22.61 ± 4.18), mientras que el peso fue de 300 a 950 g (226.23 ± 149.72). El número de peces capturados y la media de sus medidas morfométricas por cada estación se presentan en la Tabla 1. El promedio del peso de los peces no presentó diferencias significativas (en g) entre las estaciones ($F_{(26,94)}=4.06$; $p=2.84$) ni entre grupos ($F_{(2,25)}=0.09$; $p=0.91$). El promedio de las longitudes estándar no presentó diferencias significativas entre grupos ($F_{(2,25)}=1.04$; $p=0.36$).

7.2. Grandes grupos de parásitos

Se cuantificaron un total de 44,323 individuos parásitos metazoarios pertenecientes a 30 taxa, 10 fueron identificados a nivel de especie, 15 a nivel de género y cinco a nivel de familia. Las 30 taxa identificadas pertenecieron a cinco grupos: 12 digeneos, cinco cestodos, seis nematodos (cinco adultos y una larva), cuatro acantocéfalos y tres artrópodos (Tabla 2).

Tabla 2. Parásitos metazoarios del lenguado mexicano *Cyclopsetta chittendeni* de la Sonda de Campeche, entre paréntesis al lado de cada grupo se encuentra la distancia que presentan a los pozos petroleros.

Especies	Total		Grupos					
	Prevalencia	A M	C (cerca 1-10km)	A M	M (media 11-26km)	A M	L (lejano 27-258km)	A M
Digenea								
<i>Stephanostomum</i> sp.7 ^{L, I, U}	0.83	0.02 ± 0.18	-	-	2.44	0.05 ± 0.31	-	-
Cryptogonimidae gen. sp. ^{L, G, M, Ge}	4.13	0.45 ± 2.83	-	-	-	-	12.50	1.38 ± 4.83
Didymozoidae (Neotorticaecum-like) ^{L, DT, Ge}	46.28	4.36 ± 14.85	45.00	1.55 ± 2.87	39.02	1.78 ± 4.92	55.00	9.80 ± 24.49
<i>Helicometrina nimia</i> ^{A, I, Ge}	1.65	0.09 ± 0.91	-	-	4.88	0.27 ± 1.57	-	-
<i>Lecithochirium floridense</i> ^{A, I, Ge}	86.78	104.74 ± 424.72	85.00	14.78 ± 22.09	78.05	34.68 ± 79.84	97.50	266.50 ± 712.54
<i>Lecithochirium mecosacum</i> ^{A, I, Ge}	1.65	0.12 ± 0.84	-	-	4.88	0.17 ± 0.95	2.50	0.18 ± 1.11
<i>Melogonimus</i> sp. ^{A, I, Ge}	4.13	0.12 ± 0.65	-	-	4.88	0.12 ± 0.64	7.50	0.25 ± 0.93
Opeocolidae gen. sp.	1.65	0.02 ± 0.13	-	-	4.88	0.05 ± 0.22	-	-
<i>Stephanostomum</i> sp.1 ^{L, A, Ge}	31.4	1.11 ± 2.54	20.00	0.70 ± 2.08	36.59	1.56 ± 3.44	37.50	1.05 ± 1.74
<i>Stephanostomum</i> sp.2 ^{L, G, F, Ge}	7.44	0.47 ± 2.47	2.50	0.55 ± 3.48	2.44	0.02 ± 0.16	17.50	0.85 ± 2.52
<i>Stephanostomum</i> sp.3 ^{L, F, Ge}	5.79	0.12 ± 0.54	7.50	0.18 ± 0.68	2.44	0.07 ± 0.47	7.50	0.13 ± 0.46
<i>Stephanostomum</i> sp.4 ^{L, G, F, Ge}	3.31	0.07 ± 0.40	-	-	-	-	10.00	0.20 ± 0.69
Cestoda								
<i>Kotorella</i> sp. ^{L, DT, Ge}	4.96	0.37 ± 1.88	2.50	0.10 ± 0.63	4.88	0.41 ± 2.01	7.50	0.60 ± 2.48
<i>Nybelinia</i> sp. ^{L, DT, Ge}	5.79	0.07 ± 0.28	5.00	0.05 ± 0.22	7.32	0.07 ± 0.26	5.00	0.08 ± 0.35
<i>Lecanicephalum</i> sp. ^{L, F, U}	36.36	138.66 ± 418.23	42.50	167.80 ± 465.98	39.02	177.95 ± 498.22	25.00	69.25 ± 242.98
Tetraphyllidea gen. sp. ^{L, I, U}	57.85	46.27 ± 122.07	77.50	88.20 ± 194.44	53.66	26.90 ± 48.40	42.50	24.20 ± 54.29
<i>Oncomegas wagneri</i> ^{L, DT, Ge}	85.12	40.26 ± 56.62	90.00	62.95 ± 77.17	85.37	35.17 ± 38.21	82.50	22.78 ± 39.26
Nematoda								
<i>Hysterothylacium reliquens</i> ^{L, DT, Ge}	32.23	1.19 ± 2.93	27.50	0.85 ± 1.94	29.27	0.88 ± 2.03	40.00	1.85 ± 4.22

<i>Hysterothylacium fortalezae</i> ^{L, DT, Ge}	19.01	0.29 ± 0.64	25.00	0.30 ± 0.56	17.07	0.29 ± 0.68	15.00	0.28 ± 0.68
<i>Spirocamallanus chetumalensis</i> ^{A, I, Ge}	17.36	1.99 ± 8.97	7.50	0.30 ± 1.22	14.63	0.46 ± 1.36	30.00	5.25 ± 15.10
<i>Anisakis</i> sp. ^{L, I, Ge}	9.09	2.79 ± 18.70	5.00	0.05 ± 0.22	9.76	0.15 ± 0.53	12.50	8.25 ± 32.09
Anisakidae gen sp. (larva) ^{L, I, Ge}	42.15	17.46 ± 41.87	45.00	9.15 ± 22.09	39.02	26.95 ± 59.52	42.50	16.05 ± 33.24
<i>Echinocephalus</i> sp.	0.83	0.01 ± 0.09	-	-	-	-	2.50	0.03 ± 0.16
Acanthocephala								
<i>Serrasentis sagittifer</i> ^{A, I, Ge}	34.71	1.19 ± 2.75	25.00	0.88 ± 2.03	39.02	1.83 ± 3.90	40.00	0.85 ± 1.69
<i>Gorgorynchus lepidus</i> ^{A, I, Ge}	1.65	0.02 ± 0.13	-	-	-	-	5.00	0.05 ± 0.22
<i>Acanthocephala</i> gen. sp. ^{A, I, U}	0.83	0.01 ± 0.09	2.50	0.03 ± 0.16	-	-	-	-
<i>Acanthocephaloides plagiuseae</i> ^{A, I, Ge}	0.83	0.01 ± 0.09	2.50	0.03 ± 0.16	-	-	-	-
Arthropoda								
<i>Caligus</i> sp. ^{A, G, E}	5.79	0.06 ± 0.23	-	-	4.88	0.05 ± 0.22	12.50	0.13 ± 0.33
<i>Acanthochondria</i> sp. ^{A, G, E}	9.92	0.63 ± 3.25	10.00	0.28 ± 1.04	9.76	1.39 ± 5.40	10.00	0.20 ± 0.72
<i>Gnathia</i> sp. ^{L, G, Ge}	0.83	0.01 ± 0.09	2.50	0.03 ± 0.16	-	-	-	-

Notas: Los parámetros de infección son la prevalencia (%) y la abundancia media (MA ± desviación estándar, DE) para los 27 sitios de muestreo (general) y los tres grupos de sitios de muestreo formados para el análisis NMDS (ver Fig. 6). A= parásito adulto, L= parásito larvario, F= aletas, G= branquias, I= intestino, Me= mesenterios, M= músculo, DT= tracto digestivo, S=estómago, Ge= parásito generalista, U= estado desconocido.

Con respecto a la presencia de las especies de metazoarios parásitos por estación: tres especies fueron comunes en todas las 27 estaciones: *Lecithochirium floridense*, *Oncomegas wagneri* y *Tetraphyllidea* gen. sp. Siete especies estuvieron presentes en más del 50% de las estaciones, mientras que 20 especies estuvieron presentes en menos de 10 estaciones. Las estaciones 18M y 24L presentaron el mayor número de especies (17 especies), mientras que la estación 21L fue la que presentó el menor número de especies (siete especies). Los digeneos, cestodos y nematodos estuvieron presentes en todas las estaciones, siendo los digeneos el grupo mejor representado con mayor número de especies de parásitos presentes por estación (Fig. 4). En cuanto a grupos de estaciones, el grupo cercano a los pozos petroleros presentó el menor número de especies de parásitos con 19 especies y el grupo lejano a los pozos petroleros presentó el mayor número de especies de parásitos con 28 especies (Fig. 5).

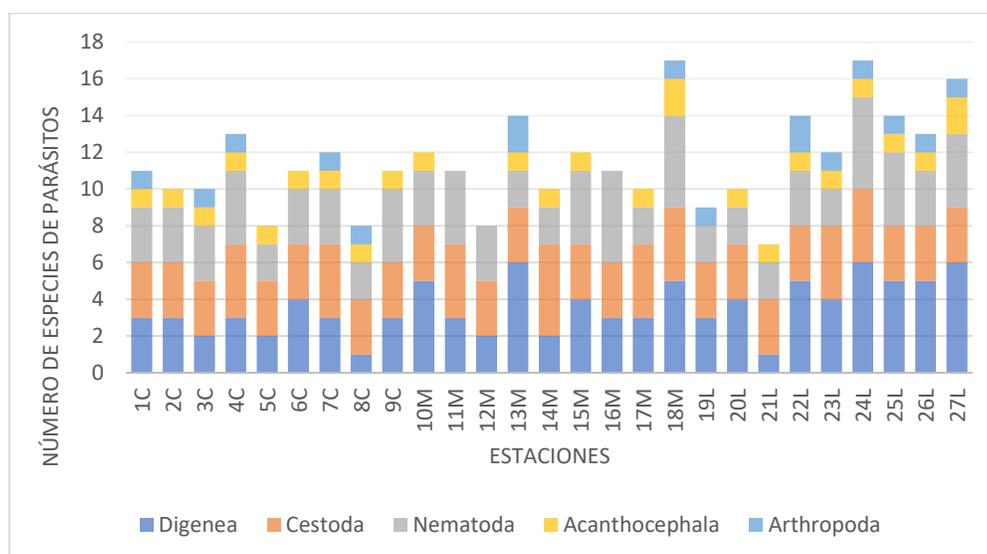


Figura 4. Número de especies agrupadas por grupos de metazoarios parásitos en cada estación de muestreo.

Los estimadores de riqueza de especies no paramétricos evaluados, mostraron valores por encima de los observados. El valor más alto fue el de Jackknife lo cual sugiere que existen aproximadamente ocho especies de parásitos por registrar y el valor más bajo fue el de Chao con cuatro especies de parásitos por registrar (Tabla 3). En la figura 5 se observa la curva de acumulación de especies de metazoarios parásitos de *C. chittendeni* por el método de Bootstrap, la línea continua representa la riqueza de especie observada para el número de peces revisados, la línea punteada es el número de especies esperados si se duplicara el número de peces revisados. El número contra el cual se comparó es el de 30 especies.

Tabla 3. Riqueza observada y estimada de las especies de metazoarios parásitos de *Cyclopsetta chittendeni* de la Sonda de Campeche por grupo de estaciones.

Número de peces	Especies observadas	Método de estimación de riqueza		
		Chao	Jackknife	Bootstrap
121	30	31.5 ± 5.34	35.78 ± 6.00	32.68 ± 5.42

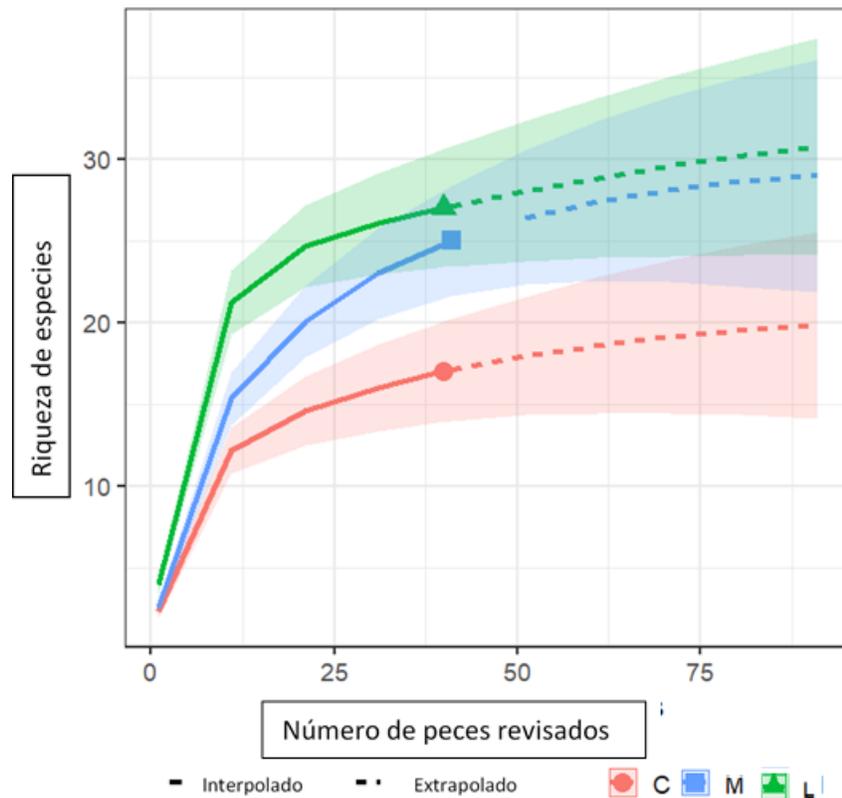


Figura 5. Gráfica de acumulación de especies de metazoarios parásitos de *Cyclopsetta chittendeni* en los tres grupos de estaciones C (cerca)= 1-10km, M (media)= 11-26km, L (lejos)= 27-258km. El sombreado de cada curva representa los intervalos de confianza a un 95%, con el método de Bootstrap (999 repeticiones).

7.3. Parámetros de infección

Los 121 ejemplares de *C. chittendeni* examinados se encontraron parasitados. Por grupos de metazoarios se encontraron 13,513 digeneos, 27,301 cestodos, 2,872 nematodos, 148 acantocéfalos y 84 artrópodos. Las especies de metazoarios parásitos presentes en *C. chittendeni* estuvieron en un rango de una a 14 especies por pez. Del total de peces revisados, el 50% (61 peces) presentaron un rango de una a cinco especies, el 45% (55 peces) entre seis y 10 especies, y el 4% (cinco peces) albergaron entre 11 y 15 especies de parásitos (Tabla 2).

En total, el 57% de las especies (17 especies) presentaron valores entre cinco y 87% de prevalencia y un 43% (13 especies) tuvieron valores por debajo del 5% de prevalencia. Las especies con valores de prevalencia general más altos fueron: *Lecithochirium floridense* (87%) *Oncomegas wagneri* (85%) y *Tetraphyllidea* gen. sp. (58%) (Tabla 2). Las especies con valores de abundancia media más altos fueron *Lecanicephalum* sp con 138 ±418 individuos y *Lecithochirium floridense* con 104 ±424, seguidos por *Tetraphyllidea* gen. sp. 46 ±122, *Oncomegas wagneri* 40 ±56 y Anisakidae gen sp. (Larva) 17 ±41; todas las demás especies presentaron una abundancia media menor a cinco individuos (Tabla 2).

7.4. Comunidad componente

Para el total de las estaciones la riqueza de especies a nivel componente de la comunidad de metazoarios parásitos de *C. chittendeni* estuvo conformada por 30 especies y 44323 individuos. La comunidad componente presentó una diversidad de 1.61 para el índice de Shannon-Wiener, con una equidad de 0.45 (Tabla 4). Entre grupos, el grupo M presentó el valor más alto de diversidad (1.41) pero no hubo diferencias significativas en la diversidad entre grupos ($F_{(2,25)} = 1.12$; $p=0.34$), ni entre los valores de equidad ($F_{(2,25)} = 0.58$; $p=0.56$). El cestodo larval *Lecanicephalum* sp. fue la especie numéricamente dominante en el total y entre los grupos C y M. En el grupo L la especie dominante fue *Lecithochirium floridense*. No se encontraron diferencias entre los valores de riqueza entre grupos ($F_{(2,25)} = 1.35$; $p=0.27$) ni entre el total de parásitos por grupo de estaciones ($F_{(2,25)} = 0.15$; $p=0.85$).

Tabla 4. Características a nivel componente de las comunidades de metazoarios parásitos de *Cyclopsetta chittendeni* en 27 estaciones de la plataforma norte de la península de Yucatán. Entre paréntesis, al lado de cada grupo se encuentra la distancia que presentan a los pozos petroleros.

Características	Total	Grupos		
		Cerca C (1-10km)	Media M (11-26km)	Lejos L (27-258km)
Número de peces	121	40	41	40
Número total de especies	30	20	23	24
Número total de individuos	44323	13981	12724	17213
Índice de Shannon-Wiener	1.61	1.34	1.41	1.36
Equidad de Pielou	0.45	0.45	0.43	0.47
Especie dominante	<i>Lecanicephalum</i> sp.	<i>Lecanicephalum</i> sp.	<i>Lecanicephalum</i> sp.	<i>Lecithochirium floridense</i>

7.5. Infracomunidad

En total, el promedio del número de especies de metazoarios parásitos presentes fue de 5.61 ±2.29 y el número promedio de individuos fue 362.96 ± 54.40 individuos por pez. El

índice de Brillouin en promedio fue de 1.19 ± 0.36 , con una equidad media de 0.50 ± 0.15 ; no se encontraron diferencias significativas en el valor del índice de Brillouin entre grupos ($F_{(2,25)} = 1.50$; $p=0.24$) ni para el valor de equidad de Brillouin entre grupos ($F_{(2,25)} = 0.71$; $p=0.49$). Por grupo, el número promedio de especies más alto lo presentó el grupo L con 6.20 especies y el número promedio de individuos fue 430.15 ± 65.91 individuos por pez. El grupo con el valor más bajo de equidad fue el grupo C con 0.50 ± 0.15 . Al igual que en la comunidad componente *Lecanicephalum sp.* fue la especie numéricamente más dominante en total y en los grupos C y M a excepción del grupo L cuya especie dominante fue *L. floridense*. La media de la dominancia del valor de Berger-Parker fue mayor a 0.50 en todos los grupos de estaciones (Tabla 5).

Tabla 5. Características de las infracomunidades de parásitos metazoarios del lenguado mexicano *Cyclopsetta chittendeni* (n=121). Entre paréntesis, al lado de cada grupo se encuentra la distancia que presentan a los pozos petroleros.

Características	Total	Grupos		
		Cerca C (1-10km)	Media M (11-26km)	Lejano L (27-258km)
Número promedio de especies (\pm DS)	5.61 ± 2.29	5.30 ± 1.85	5.36 ± 2.41	6.20 ± 2.49
Número promedio de individuos x pez (\pm DS)	362.96 ± 54.40	348.73 ± 52.99	316.48 ± 44.55	430.15 ± 65.91
Media diversidad Brillouin (\pm DS)	1.19 ± 0.36	1.02 ± 0.24	1.29 ± 0.28	1.26 ± 0.49
Media equidad Brillouin (\pm DS)	0.50 ± 0.15	0.45 ± 0.11	0.54 ± 0.12	0.52 ± 0.21
Media dominancia Berger-Parker (\pm DS)	0.55 ± 0.19	0.62 ± 0.14	0.52 ± 0.17	0.51 ± 0.25
Especie dominante numéricamente	<i>Lecanicephalum sp.</i>	<i>Lecanicephalum sp.</i>	<i>Lecanicephalum sp.</i>	<i>Lecithochirium floridense</i>

El análisis de similitud (ANOSIM) (Tabla 6) indicó que la composición de las especies de parásitos entre zonas fue diferente, es decir, marcando diferencias significativas en la similitud media entre las infracomunidades de los grupos C y L ($R=0.17$, $p=0.02$). Sin embargo, en la gráfica de ordenación NMDS (Fig. 6) no se observa una separación clara de los grupos.

Tabla 6. Diferencias significativas en similitud por ANOSIM para parásitos de *Cyclopsetta chittendeni* en grupos (C=1-10km, M=11-26km, L=27-258km) de la Sonda de Campeche.

Prueba	R-estadístico	P-valor
Por grupos	0.08	0.08
Grupo C y M	0.04	0.24
Grupo C y L	0.17	0.02
Grupo M y L	0.03	0.25

Abreviatura: ANOSIM, análisis de similitudes

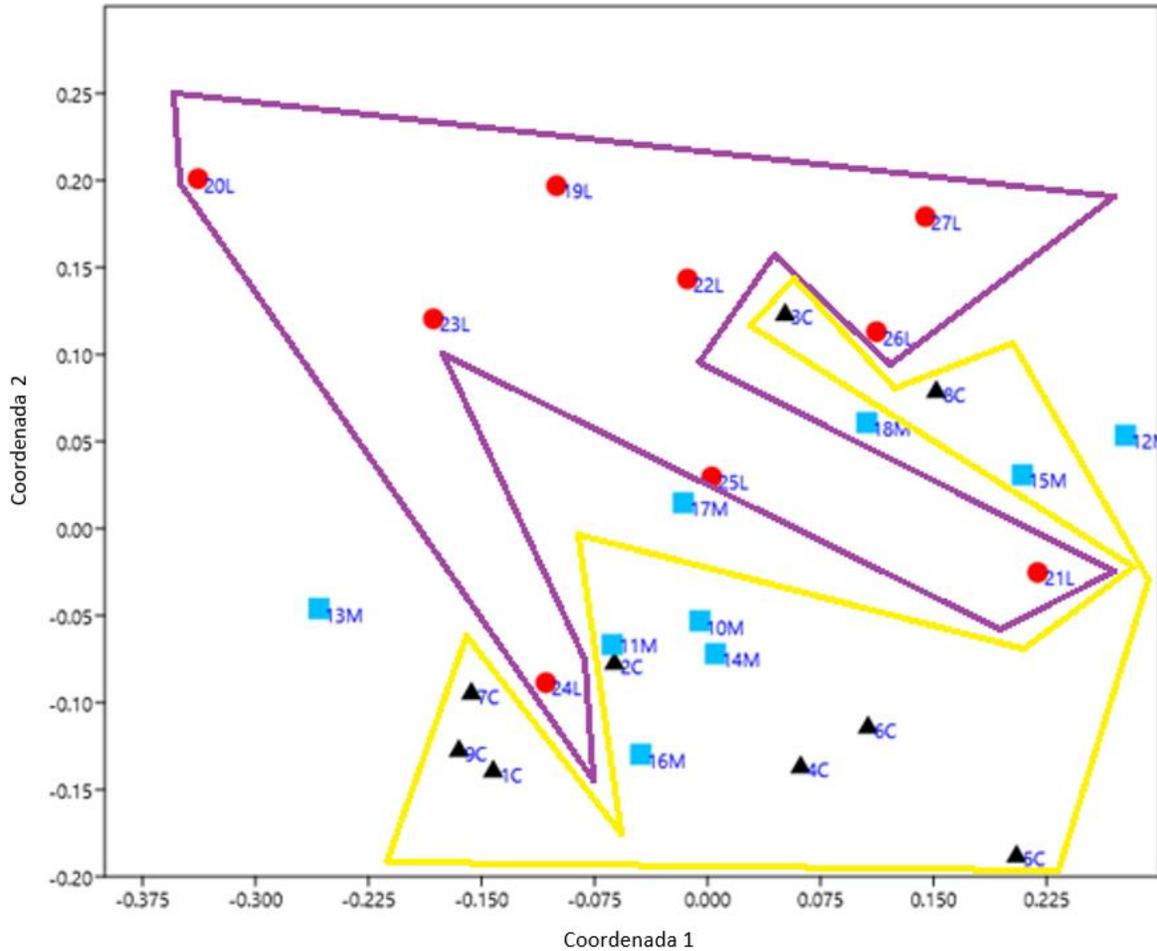


Figura 6. Análisis de escala multidimensional no métrico (NMS) (Bray Curtis) de los metazoarios parásitos del lenguado mexicano (*Cyclopsetta chittendeni*). La trama muestra patrones de semejanza de los tres grupos de estaciones muestreados C (cerca)= 1-10km, M (media)= 11-26km, L (lejos)= 27-258km.

El análisis SIMPER para determinar la contribución de especies en los grupos de estaciones se muestran en la tabla 7. Diferentes especies de parásitos son las que contribuyeron de manera más significativa en similitud dentro de cada grupo. Las especies *Oncomegas wagneri*, *Tetraphyllidea gen. sp.*, *Lecaniccephalum sp.*, *Lecithochirium floridense* y *Anisakidae gen. sp.* (larva) contribuyeron en los tres grupos de estaciones, siendo el grupo C el que presentó el valor más alto de similitud (67.19%).

Tabla 7. Resultados del análisis de similitud SIMPER, entre paréntesis al lado de cada grupo se encuentra la distancia que presentan a los pozos petroleros.

Grupo Cerca C (1-10km)					
Porcentaje de similitud: 67.19					
Especies	Abundancia promedio	Similitud promedio (Bray Curtis)	Desviación estándar de la similitud	Porcentaje de contribución de la especie a la similitud	Porcentaje acumulativo de similitud
<i>Oncomegas wagneri</i>	2.61	13.5	4.2	20.09	20.09
Tetraphyllidea gen. sp.	2.65	12.8	2.92	19.04	39.13
<i>Lecanicephalum</i> sp.	2.71	10.2	1.88	15.17	54.3
<i>Lecithochirium floridense</i>	1.81	9.58	3.72	14.26	68.57
Anisakidae gen sp. (larva)	1.41	6.13	1.73	9.13	77.7
Grupo Media M (11-26km)					
Porcentaje de similitud: 66.92					
Especies	Abundancia promedio	Similitud promedio (Bray Curtis)	Desviación estándar de la similitud	Porcentaje de contribución de la especie a la similitud	Porcentaje acumulativo de similitud
<i>Oncomegas wagneri</i>	2.28	11.55	4.06	17.26	17.26
<i>Lecanicephalum</i> sp.	2.77	10.75	2.06	16.06	33.32
Anisakidae gen sp. (larva)	2.14	10.26	4.89	15.33	48.65
Tetraphyllidea gen. sp.	2.03	9.3	4.11	13.89	62.55
<i>Lecithochirium floridense</i>	1.82	7.35	3.84	10.99	73.54
Grupo Lejano L (27-258km)					
Porcentaje de similitud: 60.36					
Especies	Abundancia promedio	Similitud promedio (Bray Curtis)	Desviación estándar de la similitud	Porcentaje de contribución de la especie a la similitud	Porcentaje acumulativo de similitud
<i>Lecithochirium floridense</i>	2.98	11.16	2.77	18.49	18.49
<i>Oncomegas wagneri</i>	2.06	9.76	3.69	16.18	34.66
Tetraphyllidea gen. sp.	1.95	8.41	2.71	13.94	48.6
Anisakidae gen sp. (larva)	1.68	6.58	1.6	10.91	59.51
Didymozoidae (Neotorticaecum-like)	1.36	4.48	1.57	7.42	66.93
<i>Lecanicephalum</i> sp.	1.74	4.23	0.77	7	73.94

7.6. Asociación entre variables

En la tabla 8 se muestran los valores en total y por grupo de estaciones muestreadas de las variables ambientales consideradas. Considerando todas las estaciones muestreadas, a nivel de estación de muestreo (comunidad componente), las variables ambientales presentaron los siguientes valores: los hidrocarburos aromáticos policíclicos oscilaron entre las 4.1 y 71.15 ppb, la materia orgánica en porcentaje varió de 0.99 a 3.31. El tipo de fondo en porcentaje de sustrato presentó de 0.20 a 67.55 de limo y 1.25 a 20.25 de arcilla. El sulfuro

obtuvo valores que variaron entre 0.21 a 0.26 mg/g., en cuanto a metales el bario presentó el valor más alto con 94.03 mg/g y el vanadio el valor más bajo con 5.79 mg/g.

Tabla 8. Valores medios con desviación estándar (D.E.) de las variables ambientales registradas en las 27 estaciones muestreadas en la Sonda de Campeche, entre paréntesis al lado de cada grupo (C, M y L) se encuentra la distancia que presentan estas estaciones a los pozos petroleros.

Variables	Total		Grupos					
	M±D.E	Rango	C (1-10km)	Rango	M (11-26km)	Rango	L (27-258km)	Rango
HAP's (ppb)	39.07 ± 20.55	71.15-4.10	42.40 ± 26.42	71.15-6.97	43.02 ± 14.75	62.78-13.58	30.90 ± 18.74	60.71-4.10
M orgánica (%)	2.11 ± 0.63	3.31-0.99	2.40 ± 0.64	3.28-1.34	2.03 ± 0.67	3.31-1.04	1.92 ± 0.53	2.42-0.98
Tipo de fondo								
Limo %	47.78 ± 16.94	67.55-0.20	46.93 ± 18.08	61.55-2.60	49.68 ± 15.83	67.55-20.20	46.74 ± 18.67	65.45-0.20
Arcilla %	8.10 ± 4.07	20.25-1.25	6.45 ± 2.34	8.50-1.25	38.62 ± 3.84	16.10-3.50	9.19 ± 5.38	20.25-1.55
Minerales								
Sulfuro mg/g	0.18 ± 0.01	0.21-0.16	0.18 ± 0.01	0.21-0.17	0.17 ± 0.01	0.18-0.16	0.17 ± 0.01	0.19-0.16
Metales								
Cu mg/g	8.71 ± 4.41	23.86-1.13	7.92 ± 3.22	11.69-2.29	9.09 ± 2.41	12.61-4.35	9.11 ± 6.78	23.86-1.13
Pb mg/g	21.53 ± 5.04	29.24-8.56	21.42 ± 4.71	25.92-10.86	22.00 ± 4.75	28.74-12.36	21.18 ± 6.12	29.24-8.56
Cr mg/g	62.05 ± 16.47	82.95-16.92	68.81 ± 12.89	79.76-41.17	69.73 ± 9.51	82.95-50.73	47.62 ± 16.54	71.80-16.92
V mg/g	32.53 ± 22.11	82.70-5.79	25.22 ± 15.80	57.45-8.76	41.61 ± 22.28	71.19-8.15	30.78 ± 26.21	82.70-5.79
Ba mg/g	81.11 ± 12.99	94.03-39.96	83.88 ± 16.94	93.78-39.96	81.27 ± 4.20	88.46-76.36	78.19 ± 15.02	94.03-51.20

Entre grupos (C, M y L) las variables que presentaron diferencias significativas fueron el sulfuro (Kruskal-Wallis $H_{(2,25)} = 6.38$; $p=0.04$) con valores más altos en el grupo C y el Cromo (Kruskal-Wallis $H_{(2,25)} = 10.18$; $p=0.006$) con valores más altos en el grupo M. El resto de las variables no presentó diferencias significativas entre los parámetros por grupo: HAPs ($F_{(2,25)} = 1.57$; $p=0.22$), materia orgánica ($F_{(2,25)} = 1.47$; $p=0.24$), limo ($H_{(2,25)} = 0.44$; $p=0.79$), arcilla ($H_{(2,25)} = 1.03$; $p=0.59$), cobre ($H_{(2,25)} = 0.80$; $p=0.66$), plomo ($H_{(2,25)} = 0.07$; $p=0.96$), vanadio ($H_{(2,25)} = 2.95$; $p=0.22$) y bario ($F_{(2,25)} = 0.20$; $p=0.81$).

7.6.1. Análisis de redundancia

La figura 7 muestra el análisis de redundancia (RDA) utilizando las abundancias de helmintos parásitos de *C. chittendeni* como variables biológicas (=dependientes) y los contaminantes como variables ambientales (=independientes), mostrando asociaciones estadísticamente significativas entre las variables biológicas y variables ambientales. La matriz explica el 54% global de la varianza (Tabla 9). La prueba de ANOVA del RDA fue significativa ($F=1.92$; $P=0.003$, 999 permutaciones) lo que quiere decir hubo asociación

estadística entre las variables biológicas (dependientes) en este caso las abundancias de los helmintos parásitos y las variables independientes (figura7).

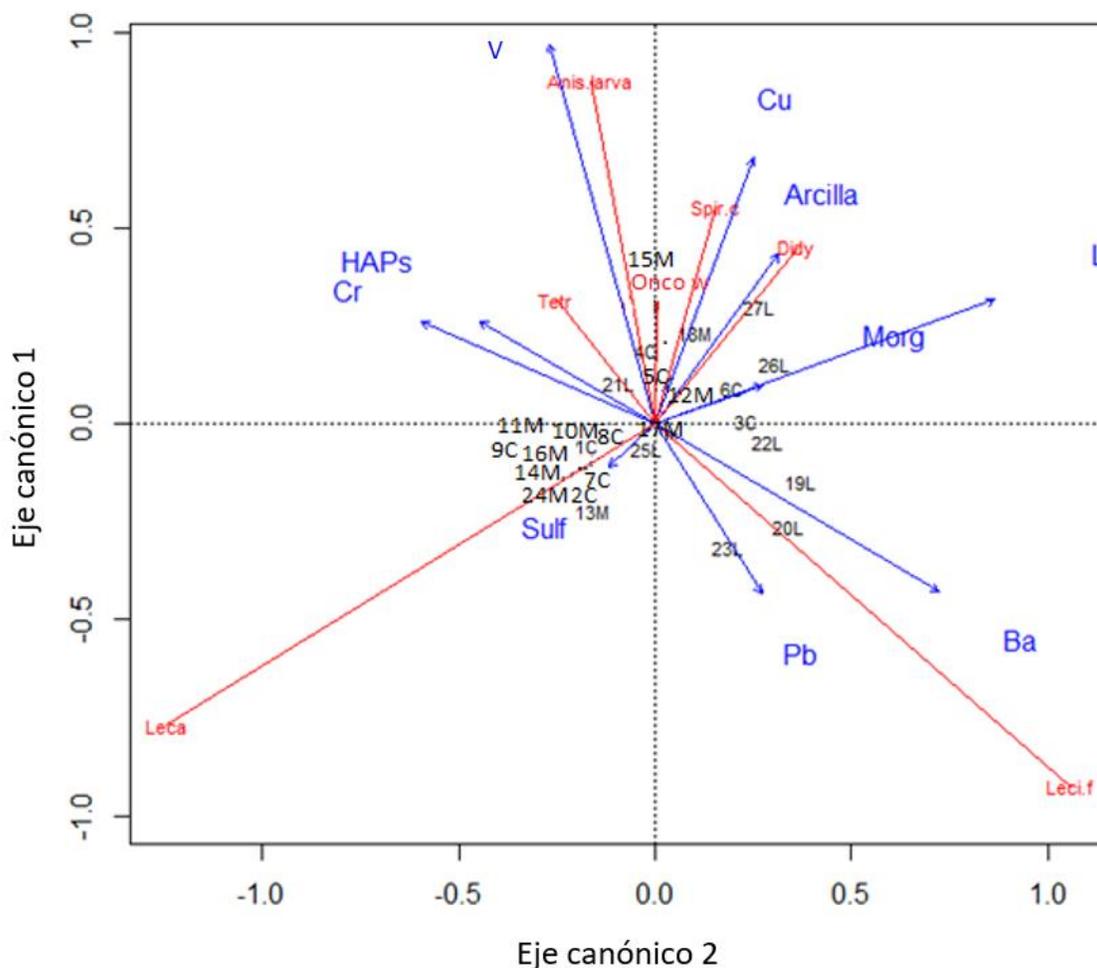


Figura 7. Análisis de redundancia (RDA) que describe las asociaciones estadísticas entre las especies de metazoarios parásitos de *Cyclospetta chittendeni* y los contaminantes detectados. La fuerza de la asociación se refleja en la longitud de las flechas. En rojo se pueden observar las especies, en azul las variables ambientales y en color negro las estaciones de muestreo., Didy= Didymozoidae (Neotorticaecum-like), Leci f= *Lecithochirium floridense*, Leca= *Lecanicephalum* sp., Tetr= Tetraphyllidea gen. sp., Onco w= *Oncomegas wagneri*, Spir c= *Spirocamallanus chetumalensis*. HAPs= Hidrocarburos aromáticos policíclicos, M. org= materia orgánica, L= limo, Sulf= sulfuro, Cu= cobre, Pb= plomo, Cr= cromo, V= vanadio y Ba= bario. La matriz de las variables explica el 54% global de la varianza.

Tabla 9. Resultados generados por el Análisis de redundancia (RDA).

	Varianza	Proporción explicada por las variables del modelo
Total	0.34	1
Variabes	0.18	0.54
Desconocido	0.15	0.45

Las variables independientes más influyentes en cuestión de metales fueron el vanadio y el bario, el tipo de fondo más influyente fue el limo (L), presente del lado derecho del RDA. Del lado derecho de la figura podemos observar a las estaciones que se encuentran más lejanas a los pozos petroleros y del lado izquierdo aquellas estaciones que están más cercanas a los pozos petroleros. En cuanto a las asociaciones positivas significativas se puede observar que los hidrocarburos presentaron una asociación con los metazoarios *Tetraphyllidea* gen. sp, el vanadio con *Anisakidae* gen sp. (larva) y el bario con los *Lecithochirium floridense* (Fig. 7). Hubo asociaciones estadísticamente significativas entre las variables biológicas y ambientales, con un 54% de la varianza explicada para los primeros cuatro ejes, siendo el primer eje el único que resultó significativo ($F= 8,88$; $P= 0.01$; 999 permutaciones). Para interpretar este gráfico, es importante considerar que a mayor longitud de una flecha mayor es el porcentaje de varianza con que contribuye esa variable y cuanto menor es el ángulo entre las variables biológicas y ambientales, mayor es su asociación estadística. Además, si las flechas van en la misma dirección, las asociaciones son positivas y si van en contra son negativas. De esta manera podemos observar que la abundancia de *Lecithochirium floridense* y la mayor parte de las estaciones lejanas a los pozos petroleros (grupo L) tuvieron asociaciones negativas con las concentraciones de hidrocarburos y de cromo. En cuanto a las variables ambientales que presentaron asociaciones positivas con los sitios lejanos a los pozos podemos encontrar al limo, arcilla, cobre y materia orgánica que presentaron asociaciones positivas fuertes con *Didymozoidae* (Neotorticaecum-like) y *Spirocamallanus chetumalensis*.

VIII.- DISCUSIÓN

En este trabajo se puso a prueba la hipótesis de que las comunidades de parásitos del lenguado mexicano (*Cyclopsetta chittendeni*) presentarían diferencias en composición y estructura entre grupos de estaciones según su cercanía con pozos petroleros selectos de la Sonda de Campeche. Esta hipótesis se cumplió al observar un cambio en las abundancias y en la composición de especies entre grupos de estaciones cercanas (grupo C) y lejanas (grupo L) a los pozos. El análisis de similitud (ANOSIM) demostró que hubo diferencias en la composición de especies entre el grupo cercano y lejano de los pozos petroleros. Hubo diferencias en las especies dominantes, en los grupos de distancia lejana y media a los pozos (grupo C y M) la especie dominante fue *Lecanicephalum* sp. En el grupo lejano (L) se encontró que la especie dominante fue *Lecithochirium floridense*. Por lo tanto, si existen diferencias en las abundancias y composición de especies con respecto a la cercanía con los pozos petroleros.

8.1. Descripción morfométrica de los hospederos

Los hospederos encontrados en los tres grupos de estaciones de muestreo no mostraron diferencias significativas en el peso ni en longitud estándar. Tomando en cuenta que *C. chittendeni* es una especie que alcanza su talla máxima de 25-32cm, la talla promedio encontrada para esta especie nos indica que la mayor parte de los individuos tenían una talla juvenil a adulta de 13 a 36 cm (22.61 ± 4.18). Las tallas y los pesos pudieron no presentar diferencias debido a que a pesar de que la distancia con los pozos petroleros era diferente para cada grupo de estaciones, solo dos de las estaciones (27L: 10m y 14M: 12m) presentaron una profundidad menor a los 20 metros (el resto de las estaciones presentaron una profundidad de 22 a 175 m). *Cyclopsetta chittendeni* es una especie que puede distribuirse a profundidades desde los 20 hasta los 150m (Cervigón *et al.*, 1992) lo que indica que esta profundidad está dentro del rango de distribución de esta especie. Otro punto importante podría ser que el tipo de muestreo influyó en las tallas de los peces al capturar cierto tamaño debido a que la red de arrastre pudo haber capturado a las tallas más grandes.

8.2. Grandes grupos de parásitos

En este trabajo se presenta el registro de la fauna parasitaria de *C. chittendeni* para la Sonda de Campeche. Se encontró un total de 30 taxa, un número alto a comparación con el trabajo realizado por Centeno-Chale y colaboradores en el 2015 donde se realizó un estudio en la zona costera de Tabasco, cercano a la desembocadura del Río Grijalva para *C. chittendeni* y se encontró un total de 17 especies de parásitos. Las especies que se encontraron en todas las estaciones fueron *Lecithochirium floridense*, *Tetraphyllidea* gen. sp. y

Oncomegas wagneri, uno perteneciente a la Clase Digenea y dos a la Clase Cestoda. De acuerdo con lo reportado por Vidal-Martínez y colaboradores (2019) para *Syacium papillosum* se reportó que estos fueron los grupos de parásitos que se observaron con mayor frecuencia, en la plataforma continental. Esto sugiere que estos grupos se encuentran distribuidos ampliamente desde la plataforma continental de Yucatán hasta la Sonda de Campeche, y que son características de la plataforma continental.

En cuanto al número de especies de parásitos por grupo de estaciones respecto a su cercanía a los pozos petroleros, el grupo que presentó menor número de especies fue el grupo más cercano (C) a los pozos petroleros con 17 especies, a diferencia del grupo más lejano (L) el cual presentó 28 especies de metazoarios parásitos. Esto se puede deber a dos principales razones. La primera es que las estaciones más cercanas a los pozos son lugares más contaminados. La segunda es que los sitios más lejanos a los pozos están más cercanos a la costa, en donde podemos encontrar descargas de nutrientes provenientes de los ríos y, por lo tanto, mayor probabilidad de que se completen los ciclos de vida de los parásitos haciéndolos más exitosos. Rodríguez-González y Vidal-Martínez (2008) reportaron que existen asociaciones significativas entre las abundancias de especies de parásitos y el volumen de descarga de agua de lugares cercanos a la costa y a los ríos de Campeche.

Las comunidades parasitarias encontradas en *C. chittendeni* fueron completamente censadas, ya que se realizó un examen completo de todo el cuerpo del pez, el número de peces muestreados presentó un número de 3 a 5 peces por sitios, lo que nos deja con un número bajo de muestras de peces. Sin embargo, si tomamos los datos por grupos de estaciones podemos observar en la gráfica de curva de acumulación de especies (Fig. 5) que las curvas de acumulación del número de especies tienden a asintotizarse, lo que quiere decir, que, aunque el número de peces fue pequeño, se logró representar la mayor parte de la comunidad parasitaria de *C. chittendeni* ya que cada pez se convierte en una unidad de muestreo. El número pequeño de muestras de peces se debió a que el presente estudio se realizó con un muestreo restringido por cuestiones de contrato con PEMEX. El hecho de que se haya asintotizado la curva de número acumulativo de especies quiere decir que las especies más frecuentes y abundantes en las comunidades de helmintos fueron capturadas y que posiblemente las especies faltantes a la contribución de la asíntota es debida a la ausencia de especies raras. Por otro lado, el haber concentrado las muestras de peces por grupos incrementó la representatividad de la composición de estas comunidades de helmintos. Estrategias similares han sido aplicadas en otros estudios en peces planos en otras regiones del Golfo de México con propósitos comparativos. Por ejemplo, Rodríguez-González y Vidal-Martínez (2008) realizaron un muestreo con una red de arrastre de prueba camaronera para recolectar a los individuos de *Symphurus plagiusa* por 12 min. Quintanilla-Mena y colaboradores (2020) realizaron un estudio utilizando una red de arrastre para captura de *Syacium gunteri* y determinar el efecto de contaminantes en la biota marina a lo largo del Golfo de México.

8.3. Parámetros de infección

Las especies más frecuentes (con valores de frecuencia más altos) fueron *Oncomegas wagneri* (85.12%), *Lecithochirium floridense* (86.72%) y *Tetraphyllidea* gen. sp (57.85%). Las especies que presentaron una abundancia media más alta fueron *Lecanicephalum* sp (138.66 ± 418.23) y *Lecithochirium floridense* (104.74 ± 424.72). Los parámetros de infección para *C. chittendeni* fueron muy heterogéneos (Tabla. 2). Un gran número de especies presentaron valores de prevalencia y abundancia media bajos., sugiriendo que este hospedero no es obligatorio en el ciclo de vida para la mayoría de los parásitos reportados. Esta heterogeneidad es muy similar a los parámetros de infección de otros peces marinos de la zona (Vidal-Martínez *et al.*, 1998, 2019; Sánchez-Ramírez & Vidal-Martínez, 2002).

Es importante mencionar que muchas de las especies encontradas en nuestros hospederos estuvieron en fase de desarrollo larval, lo que sugiere, que este hospedero pudiera desempeñar un papel importante como hospedero intermediario para las especies de parásitos, dentro de la plataforma norte de la Península de Yucatán (Moravec *et al.*, 1997). La alta prevalencia y abundancia media de fases larvales., nos dejan ver que *C. chittendeni* vive en un medio con altos niveles de materia orgánica, lo cual incrementa la probabilidad de la presencia de hospederos intermediarios como los copépodos y a su vez funge como hospedero intermediario o de transporte de estos parásitos. Los hábitos alimenticios de los lenguados incluyen invertebrados, como jaibas pequeñas, poliquetos, copépodos, anfípodos, ostrácodos, gasterópodos, crustáceos y bivalvos (Vega-Cendejas *et al.*, 1997). Muy probablemente estos organismos son los primeros hospederos intermediarios de las especies observadas, en especial en el intestino de *C. chittendeni*. Por lo tanto, la presencia de estos parásitos en estadio larval en este hospedero podría explicarse con base en sus hábitos sedentarios y alimenticios. Tal es el caso de cestodos que se presentan en estado larval en *C. chittendeni* y alcanzan su etapa adulta en condrictios (Khalil *et al.*, 1994).

En cuanto a las especies más abundantes encontradas en los tres grupos de estaciones se encontró que *Lecithochirium floridense* y *Lecanicephalum* sp. fueron las especies más abundantes. Se observó que las abundancias de estas especies disminuyeron en el grupo de estaciones que se presentaron más cerca de los pozos petroleros. Esto se puede deber a que la cercanía con los pozos petroleros crea un ambiente con condiciones (como profundidad o contaminación) que propician un ambiente diferente para las comunidades de parásitos. Esta interpretación se basa en lo registrado por Centeno-Chale y colaboradores (2015) quienes encontraron que los sitios que presentan mayor impacto por contaminación suelen presentar efectos negativos sobre las comunidades de parásitos. Sin embargo, un punto importante es que será necesario llevar a cabo un muestreo de los potenciales hospederos intermediarios en los sedimentos a fin de corroborar si efectivamente tienen menos parásitos en comparación con zonas con menores concentraciones de hidrocarburos y metales pesados.

8.4. Comunidad componente

En cuanto a la comparación entre los grupos de estaciones no se encontraron diferencias significativas entre los valores de diversidad, equidad, riqueza y abundancia (Tabla 3). Sin embargo, si se pudo observar un aumento en el número de especies y en abundancia en aquellas especies que pertenecieron al grupo más lejano a los pozos petroleros. Además, fue posible observar un cambio en la especie dominante. En los grupos C y M la especie dominante fue *Lecanicephalum* sp. y en el grupo L (el más lejano de los pozos petroleros) *Lecithochirium floridense* (Tabla. 8), esto podría deberse al tipo de ciclo de vida de estos parásitos. *Lecanicephalum* sp. es un parasito que requiere de hospederos intermediarios como *Syacium papillosum* (Ocaña *et al.*, 2021) y en este caso *C. chittendeni*., al ser un cestodo en etapa larval, utiliza al pez como hospedero intermediario para posteriormente llegar a su hospedero definitivo que comúnmente son condriictios, en específico rayas (Caira *et al.*, 2001).

La dominancia de *Lecanicephalum* sp. en los grupos de estaciones más cercanas a los pozos puede deberse a que esta especie fue encontrada en etapa larval, las larvas suelen acumularse con el tiempo, lo que quiere decir que a medida que el pez crece acumula un mayor número de larvas. A diferencia de *Lecanicephalum* sp., *Lecithochirium floridense* fue encontrado en etapa adulta. Esto quiere decir que el parásito es adquirido tróficamente y necesita obligatoriamente la presencia del hospedero intermediario anterior para llegar a *C. chittendeni*, el pez está ingiriendo hospederos intermediarios infectados en gran cantidad dado que este es un parásito frecuente y abundante, sin embargo. Esto sugiere además que los hospederos intermediarios de *L. floridense* están en estaciones más alejadas de los pozos petroleros. Un punto importante es que no todas las estaciones alejadas de los pozos necesariamente estuvieron más cerca de la costa. Esto sugiere que las condiciones cercanas a los pozos no son propicias para los hospederos intermediarios o para los parásitos en sí. Vidal-Martínez y colaboradores (2019) mencionaron que el adulto *L. floridense* suele utilizar como huésped definitivo al lenguado *Syacium papillosum*. *C. chittendeni* también actúa como hospedero definitivo al igual que otros peces óseos en donde es hallado en esta etapa (Overstreet *et al.*, 2009). Esto demuestra que el parásito es un generalista que puede infectar a diferentes especies de peces, pero que cuando está en condiciones inadecuadas (como es cerca de los pozos petroleros) sus parámetros de infección (prevalencia y abundancia) disminuyen significativamente (Tabla 2).

La comunidad componente de metazoarios parásitos de *C. chittendeni* en la Sonda de Campeche estuvo compuesta por 30 especies (Tabla 8). Comparada con otros estudios de peces planos, *Platichthys flesus* presentó exactamente el mismo número de especies (30) en Alemania (Schmidt *et al.*, 2003), siendo este un valor alto a comparación de *Symphurus plagiusa* quien presentó ocho especies en México (Rodríguez-González & Vidal-Martínez

2008) y *C. chittendeni* que presentó nueve especies en la Sonda de Campeche (Centeno-Chale *et al.*, 2015).

8.5. Infracomunidad

En la comparación entre los grupos de estaciones para los valores de infracomunidad se observó que no se generaron diferencias significativas entre los valores del índice de Brillouin para diversidad y equidad. Sin embargo, se observó que el número promedio de parásitos por pez aumentó en el grupo L. Estos cambios pueden deberse a que las condiciones ambientales de las estaciones del grupo L se encuentran más cercanas a la costa en ciertas estaciones (Fig. 3), favoreciendo con mejores condiciones ambientales que los parásitos logren completar su ciclo de vida. Sin embargo, las estaciones que están al norte de la zona de pozos claramente están más lejanas de la zona costera y aun así presentaron valores elevados en el número de individuos parásitos. Esto nuevamente sugiere que las condiciones para que se cierre el ciclo de vida de estos helmintos parásitos es mejor en las estaciones que están lejanas de la zona de pozos petroleros.

El análisis de escalamiento multidimensional no métrico NMDS (Fig. 6) mostró una tendencia de agrupación, pero no hubo una clara separación de los tres grupos (grupo C, M y L). Sin embargo, si fue posible observar una tendencia a la separación entre los grupos C y L. El análisis de similitud ANOSIM, determinó que numéricamente existen diferencias entre el grupo C y L (Tabla 7). Este resultado apoya la interpretación de que existen diferencias en las condiciones ambientales entre grupos de estaciones, y que en el grupo de estaciones lejana de los pozos petroleros los parásitos encuentran mejores condiciones para la transmisión y para completar sus ciclos de vida. El análisis SIMPER (tabla 8) demostró que la similitud entre los grupos de estaciones fue debido a las especies *Oncomegas wagneri*, Tetrphyllidea gen. sp., *Lecanicephalum* sp., Anisakidae gen sp. (larva) y *Lecithochirium floridense*. Esto sucede sin duda debido a la amplia distribución de los parásitos sobre estas zonas. Sin embargo, el punto importante es que los números de estos parásitos fueron significativamente distintos entre los grupos C y L, lo que nuevamente sugiere mejores condiciones para los parásitos en L.

La riqueza de metazoarios parásitos a nivel de infracomunidad de *C. chittendeni* fue de 5.61 (± 2.29) especies por individuo (Tabla 5). Este valor puede considerarse medio, comparado con los valores obtenidos de la riqueza de parásitos de otras especies de peces del orden Pleuronectiformes como: *Hippoglossus cynoglossus* quien presentó ocho especies (Lile, 1998), *Platichthys flesus* con tres a siete (Schmidt *et al.*, 2003), *Dicologlossa cuneata* con siete (Marques *et al.*, 2006), *Symphurus plagiusa* quien presentó valores en los meses de mayo a septiembre de dos (± 0.73), dos (± 0.93), dos (± 0.55), dos (± 0.55) y tres (± 0.66) respectivamente para cada mes muestreado (Rodríguez-González & Vidal-Martínez, 2008).

La diferencia entre el número de especies encontradas sugiere que esta variación podría deberse a las diferencias asociadas con la región, la profundidad, así como a la de movilidad de *C. chittendeni* y su alimentación restringida al ambiente bentónico.

8.6. Asociación estadística entre variables ambientales y biológicas

De todas las variables analizadas, el sulfuro y el cromo fueron las únicas que presentaron diferencias significativas entre grupos (Tabla 9). Esto sugiere que estas variables pudieran estar afectando la distribución de nuestras especies parasitarias, aunque por lo observado en el análisis RDA (Fig. 7) podemos inferir que el efecto del sulfuro no es grande. Sin embargo, la materia orgánica si tuvo una asociación negativa notable con respecto a la abundancia de *Lecanicephalum* sp. (Fig. 7). Dado que, cuando la materia orgánica se descompone da lugar a procesos anóxicos entre los cuales se encuentra la producción de sulfuro, es claro que el sulfuro es uno de los productos de esa degradación (Jørgesen, 1982). De la misma manera, el limo y la arcilla tuvieron asociación negativa con *Lecanicephalum* sp. lo que indica que claramente los valores altos de estas variables no son adecuados para la sobrevivencia de los estadios larvales de *Lecanicephalum* sp. Esto porque, si los coracidios de *Lecanicephalum* sp. infectan a *C. chittendeni* en el fondo marino, si hay demasiada materia orgánica, arcilla y limo depositándose, esto puede ser nocivo para el parásito porque representan un medio demasiado denso para movilizarse hacia el lenguado. El ciclo de vida de *Lecanicephalum* sp. no se conoce, pero la biología de su pariente cercano *Tylocephalum* sp. (Cheng, 1966) ha sido cuidadosamente descrita y es a partir de ahí que se hacen estas inferencias. Esto explica por qué estas variables en el RDA presentaron asociaciones negativas con la mayor parte de las estaciones del grupo L (estaciones lejanas a los pozos petroleros).

En el caso de *L. floridense*, en la Fig. 7, este parásito que fue muy frecuente y abundante tuvo una relación negativa con las concentraciones de cromo e hidrocarburos. Esto refuerza la idea de que este parásito presenta menores abundancias en las estaciones cercanas a los pozos y que tanto los hidrocarburos como el cromo pudieron estar afectando a los hospederos intermediarios de este parásito o al parásito en si (por bioacumulación), como ejemplo de hospederos intermediarios podemos encontrar a *Syacium papillosum* (Vidal-Martínez *et al.*, 2021) y a *C. chittendeni* (Centeno-Chale *et al.*, 2015). En la misma Fig. 7, *L. floridense* tiene asociaciones positivas con Ba y Pb. Esto se explica porque las concentraciones de estos metales en los sedimentos no son suficientemente altas como para afectar al lenguado o al parásito.

Estas asociaciones positivas se han registrado con frecuencia en la literatura, particularmente en estudios de campo de latitudes templadas (Oliva *et al.*, 1996; González *et al.*, 2001; Álvarez *et al.*, 2002; Billiard & Khan, 2003; Schmidt *et al.*, 2003) lo que nos indica que posiblemente se deba a que conforme el pez crece, acumula ambos, parásitos y

contaminantes. Otra posible explicación sería que el efecto positivo se debe a que las concentraciones de los contaminantes inmunosuprimen a los hospederos intermediarios y al hospedero final, lo que facilita las infecciones parasíticas (Khan *et al.*, 1994; Billard & Khan, 2003).

La evidencia observada sobre los cambios numéricos de los parásitos, así como la falta de tales cambios a concentraciones de contaminantes químicos en ambientes acuáticos es común en la literatura (Lafferty, 1997; Marcogliese *et al.*, 2006). Se sabe que, dependiendo de las especies de parásitos, sus cambios numéricos frente a los contaminantes podrían ser positivos, negativos o ausentes. Sin embargo, para ser concluyentes acerca del efecto de los contaminantes sobre estos parásitos sería ideal contar con evidencia experimental.

IX.- CONCLUSIONES

Se reportan 30 taxa de parásitos metazoarios para el lenguado mexicano *C. chittendeni*, 10 fueron identificados a nivel de especie, 15 a nivel de género y cinco a nivel de familia.

Tres especies estuvieron presentes en todas las estaciones (27 estaciones): *Lecithochirium floridense*, *Oncomegas wagneri* y *Tetraphyllidea* gen. sp.

Los resultados sugieren que la presencia y concentración de contaminantes encontradas en el grupo de estaciones cercanas a los pozos petroleros podrían estar generando un efecto negativo en ciertas especies de parásitos, aunque debido a la biología de los parásitos este efecto también podría deberse a que *Lecanicephalum* sp. se distribuye en áreas más oceánicas y *Lecithochirium floridense* se encuentra en zonas costeras.

En el presente estudio contribuye al conocimiento de la biología del lenguado mexicano *C. chittendeni* al establecer el registro de los metazoarios parásitos que lo parasitan. Esta información puede ser de gran importancia para la evaluación del impacto potencial que los parásitos podrían tener sobre este pez en futuros estudios.

Se observaron asociaciones negativas del cromo y los hidrocarburos con respecto a las abundancias de *Lecithochirium floridense* indicando que posiblemente a mayor concentración de estos contaminantes es menor la abundancia de estos parásitos, de tal manera que las condiciones cerca de los pozos afectan al parásito.

La materia orgánica tuvo una asociación negativa notable con respecto a la abundancia de *Lecanicephalum* sp. (Fig. 7). Debido a los procesos anóxicos entre los cuales se encuentra la producción de sulfuro. Los valores altos de materia orgánica, limo y arcilla no son adecuados para la sobrevivencia de los estadios larvales de *Lecanicephalum* sp.

X.- RECOMENDACIONES

Realizar un muestreo específicamente orientado a cumplir con los propósitos de distanciamiento entre zonas y un muestreo más completo en cuanto a las variables ambientales disponibles en los sitios, incrementando el tamaño de muestra de los peces.

Tomar en cuenta la concentración de contaminantes en el tejido de los hospederos individuales y en los parásitos en cada estación de muestreo y comparar con la concentración de contaminantes en sedimento y agua.

Medir el efecto de los contaminantes en sedimentos sobre las comunidades de parásitos de *C. chittendeni* experimentalmente.

XI.- BIBLIOGRAFÍA

Aguirre-Macedo, M. L., Vidal-Martínez, V. M., & Lafferty, K. D. (2011). Trematode communities in snails can indicate impact and recovery from hurricanes in a tropical coastal lagoon. *International Journal for Parasitology*, 41, 1403-1408.

Álvarez, F., Iglesias, R., Paramá, A. I., Leiro, J., & Sanmartín, M. (2002). Abdominal macroparasites of commercially important flatfishes (Teleostei: Scophthalmidae, Pleuronectidae, Soleidae) in northwest Spain (ICES IXa). *Aquaculture*, 213, 31-53.

Antoine, J. W., & Gilmore, J. C. (1970). Geology of the Gulf of México. *Ocean Industry* 5, 34-38.

Ayala-Pérez, L. A., Ramos-Miranda, J., Flores-Hernández, D., Sosa-López, A., & Martínez-Romero, G. E. (2015). Ictiofauna marina y costera de Campeche. *Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Instituto EPOMEX, Campeche*.

Bautista-Hernández, C. E., Monks, S., & Pulido-Flores, G. (2013). Los parásitos y el estudio de su biodiversidad: un enfoque sobre los estimadores de la riqueza de especies. *Estudios Científicos en el estado de Hidalgo y Zonas aledañas*, 2, 13-17.

Billiard, S. M., & Khan, R. A. (2003). Chronic stress in cunner, *Tautoglabrus adspersus*, exposed to municipal and industrial effluents. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 55, 9-18.

Bush, A. O., Lafferty, K. D., Lotz, J. M., & Shostak, A. W. (1997). Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis *et al.* revisited. *The Journal of Parasitology*, 83, 575-583.

Caballero, G. R., & Tello-Sandoval, G. C. (1992). Tremátodos como indicadores de niveles de contaminación por ácido sulfhídrico en el golfo de México e impacto de este ácido en la salud pública. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. 51, 1-6.

Caira, J. N., Jensen, K., & Healy, C. J. (2001). Interrelationships among tetraphyllidean and lecanicephalidean cestodes. *Interrelationships of the Platyhelminthes*, 1, 135-158.

Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L., & Monreal-Gómez, A. (1993). Suspended sediments in the southeastern Gulf of Mexico. *Marine Geology*, 112, 257-269.

Capurro, A. L. (1972). La circulación oceánica en el Golfo de México. In *Memorias IV Congreso Nacional de Oceanografía, Cd. de México, UNAM*. México, DF.

Castro-Díaz, E. & Kuna, Y. (2007) International expert group meeting on indigenous people and protection of the environment. *Environment issues in the Latin American region*. Khabarovsk, Russian Federation, 8, 27–29.

Centeno-Chalé, O. A., Aguirre-Macedo, M. L., Gold-Bouchot, G & Vidal-Martínez, V. M. (2015). Effects of oil spill related chemical pollution on helminth parasites in Mexican flounder *Cyclopsetta chittendeni* from the Campeche Sound, Gulf of Mexico. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 119, 162-169.

Cervigón, F., Cipriani, R., Fischer, W., Garibaldi, L., Hendrickx, M., Lemus, A. J., & Rodríguez, B. (1992). *Fichas FAO de identificación de especies para los fines pesca. Guía de campo de las especies comerciales marinas y de aguas salobres de la costa septentrional de Sur América*. FAO, Roma (Italia).

CONAPESCA (2002) *Anuario Estadístico de la Pesca 2001*. SAGARPA. México.

Czitrom, S. P, Ruiz, R. F, Alatarre, M. A, & Padilla, A. R. (1986). Preliminary study of a front in the Campeche Bay, Mexico. *Elsevier oceanography series*, 42, 301-311.

Dicks, B. (1998). The environmental impact of marine oil spills—Effects, recovery and compensation. *International Seminar on tanker safety, Pollution prevention, Spill response and Compensation*. Rio de Janeiro, Brazil. 6, 1-8.

Dunne, J. A., Lafferty, K. D., Dobson, A. P., Hechinger, R. F., Kuris, A. M., Martinez, N. D. & Zander, C. D. (2013). Parasites affect food web structure primarily through increased diversity and complexity. *PLoS Biol*, 11.

Dsikowitzky, L., Nordhaus, I., Jennerjahn, T. C., Khrycheva, P., Sivatharshan, Y., Yuwono, E., & Schwarzbauer, J. (2011). Anthropogenic organic contaminants in water, sediments and benthic organisms of the mangrove-fringed Segara Anakan Lagoon, Java, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 851-862.

Dzikowski, R., Paperna, I., & Diamant, A. (2003). Use of fish parasite species richness indices in analyzing anthropogenically impacted coastal marine ecosystems. *Helgoland Marine Research*, 57, 220-227.

Esch, G.W., & Fernández, J. C. (1993). A functional biology of parasitism. *Ecological and evolutionary implications*. First edition. Chapman and Hall. UK.

Eschmeyer, W.N. 1998. Catalog of Fishes. *California Academy of Sciences*. <http://research.calacademy.org/redirect?url=http://researcharchive.calacademy.org/research/Ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>. 17/06/2021.

Faulkner, B. C., & Lochmiller, R. L. (2000). Increased abundance of terrestrial isopod populations in terrestrial ecosystems contaminated with petrochemical wastes. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39, 86-90.

Froese, R., & Pauly, D. (1999). FishBase 99: conceptos, estructura y fuentes de datos. *ICLARM (eds.)*, Manila, Filipinas. <https://www.fishbase.de/>. 17/06/2021

García-Cuéllar, J. Á., Arreguín-Sánchez, F., Hernández Vázquez, S., & Lluch-Cota, D. B. (2004). Impacto ecológico de la industria petrolera en la Sonda de Campeche, México, tras tres décadas de actividad: una revisión. *Interciencia*, 29, 311-319.

Gómez, M. M., & De León, D. S. (2012). Simulación de la circulación en la Bahía de Campeche. *Geofísica Internacional*, 29, 101-111.

González-Macías, M. D. C. (1997). *Análisis de la comunidad bentónica en una chapopotera del Golfo de México y sus relaciones con la presencia crónica de hidrocarburos del petróleo*. Tesis doctoral. UNAM. México.

González, M. T., Acuña, E., & Oliva, M. E. (2001). Metazoan parasite fauna of the bigeye flounder, *Hippoglossina macrops*, from northern Chile. Influence of host age and sex. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 96, 1049-1054.

Halmetoja, A., Valtonen, E. T., & Koskenniemi, E. (2000). Perch (*Perca fluviatilis*) parasites reflect ecosystem conditions: a comparison of a natural lake and two acidic reservoirs in Finland. *International Journal for Parasitology*, 30, 1437-1444.

Halpern, B. S., & Floeter, S. R. (2008). Functional diversity responses to changing species richness in reef fish communities. *Marine Ecology Progress Series*, 364, 147-156.

Hatcher, M. J., & Dunn, A. M. (2011). *Parasites in ecological communities: from interactions to ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge.

Hayes, M. O., Hoff, R., Michel, J., Scholz, D., & Shigenaka, G. (1992). Introduction to coastal habitats and biological resources for oil-spill response. National Oceanic and Atmospheric Administration. Seattle, WA (United States).

Hechinger, R. F., Lafferty, K. D., Huspeni, T. C., Brooks, A. J., & Kuris, A. M. (2007). Can parasites be indicators of free-living diversity? Relationships between species richness and the abundance of larval trematodes and of local benthos and fishes. *Oecologia*, 151, 82-92.

Holmes, J. C., & Price, P. W. (1986). Communities of parasites. *Community Ecology: Pattern and Process*. Kikkawa, Derek J. Anderson (eds). Blackwell Scientific Publications, Oxford, U.K

Hudson, P. J., Dobson, A. P., & Lafferty, K. D. (2006). Is a healthy ecosystem one that is rich in parasites?. *Trends in Ecology & Evolution*, 21, 381-385.

IMP. (2000) *Anuario Estadístico 2000*. PEP RMNE. Instituto Mexicano del Petróleo. Cd. del Carmen, México.

Jørgensen, B. B. (1982). Ecology of the bacteria of the sulphur cycle with special reference to anoxic—oxic interface environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 298, 543-561.

Khalil, L. F., Jones, A., & Bray, R. A. (1994). Keys to the cestode parasites of vertebrates. CAB International. *The Natural History Museum, London, UK*.

Kennedy, C. R., Bush, A. O., & Aho, J. M. (1986). Patterns in helminth communities: why are birds and fish different?. *Parasitology*, 93, 205-215.

Kindt, R., & Coe, R. (2005). *Tree diversity analysis: a manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity studies*. World Agroforestry Centre. Nairobi, Kenya.

Koprivnikar, J., Baker, R. L., & Forbes, M. R. (2006). Environmental factors influencing trematode prevalence in grey tree frog (*Hyla versicolor*) tadpoles in southern Ontario. *Journal of Parasitology*, 92, 997-1001.

Lacerda, A. C. F., Roumbedakis, K., Junior, J. B., Nuñez, A. P. O., Petrucio, M. M., & Martins, M. L. (2018). Fish parasites as indicators of organic pollution in southern Brazil. *Journal of Helminthology*, 92, 322.

Lafferty, K.D. (1997). Environmental parasitology: what can parasites tell us about human impacts on the environment? *Parasitology Today*, 13, 251-255.

Lafferty, K. D., & Kuris, A. M. (1999). How environmental stress affects the impacts of parasites. *Limnology and Oceanography*, 44, 925-931.

Lefcort, H., Aguon, M. Q., Bond, K. A., Chapman, K. R., Chaquette, R., Clark, J., Kornachuk, P., Lang, B. Z., & Martin, J. C. (2002). Indirect effects of heavy metals on parasites may cause shifts in snail species compositions. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 43, 34-41.

León-Hernández A., 2009. La comunidad ictiológica del litoral de la ciudad de San Francisco Campeche, en dos 2001-2003 y su relación con variables físico-químicas. Tesis de Licenciatura, FCQB. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche. México.

Lile, N. K. (1998). Alimentary tract helminths of four pleuronectid flatfish in relation to host phylogeny and ecology. *Journal of Fish Biology*, 53, 945-953.

Luque, J. L. (2008). Parásitos: ¿Componentes ocultos de la Biodiversidad? Parasites: A hidden component of the Biodiversity?. *Biologist*, 6, 5-7.

MacKenzie, K., & Abaunza, P. (1998). Parasites as biological tags for stock discrimination of marine fish: a guide to procedures and methods. *Fisheries Research*, 38, 45-56.

Marcogliese, D. J. (2002). Food webs and the transmission of parasites to marine fish. *Parasitology*, 124, 83-99.

Marcogliese, D. J. (2005). Parasites of the superorganism: are they indicators of ecosystem health?. *International Journal for Parasitology*, 35, 705-716.

Marcogliese, D. J., & Cone, D. K. (1997). Food webs: a plea for parasites. *Trends in Ecology & Evolution*, 12, 320-325.

Marcogliese, D. J., Nagler, J. J., & Cyr, D. G. (1998). Effects of exposure to contaminated sediments on the parasite fauna of American plaice (*Hippoglossoides platessoides*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 61, 88-95.

Martínez-López, B., & Parés-Sierra, A. (1998). Circulation in the Gulf of Mexico induced by tides, wind and the Yucatan Current. *Ciencias Marinas*, 24, 65-93.

Morand, S., & Krasnov, B. R. (Eds.). (2010). *The biogeography of host-parasite interactions*. Oxford University Press. Oxford.

Moravec, F., Vidal-Martínez, V. M., Vargas-Vázquez, J., Vivas-Rodríguez, C., González-Solís, D., Mendoza-Franco, E., & Güemez-Ricalde, J. (1997). Helminth parasites of

Epinephelus morio (Pisces: Serranidae) of the Yucatan Peninsula, southeastern Mexico. *Folia Parasitologica*, 44, 255-266.

Mouritsen, K. N., & Poulin, R. (2002). Parasitism, community structure and biodiversity in intertidal ecosystems. *Parasitology*, 124, 101-117.

Munroe, T. A. (2002). Paralichthyidae, sand founders. *FAO species identification guide for fishery purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication. The living marine resources of the Western Central Atlantic*, 3, 1375-2127.

Nelson, J.S., (1994). *Fishes of the world*. 3ª edición. John Wiley & Sons, Inc., New York.

NOAA. (1993). Shoreline countermeasures manual. Tropical Coastal Environments. *Hazardous Material Response and Assessment Division*. National Oceanic and Atmospheric Administration. Washington, DC, USA.

Ocaña, F. A., Soler-Jiménez, L. C., Aguirre-Macedo, M., & Vidal-Martínez, V. M. (2021). The performance of taxonomic and trait-based approaches in the assessment of dusky flounder parasite communities as indicators of chemical pollution. *Environmental Pollution*, 117622.

Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'hara, R. B., & Wagner, H. (2013). Community ecology package. *R package version*, 2(0).

Oliva, M. E., Castro, R. E., & Burgos, R. (1996). Parasites of the flatfish *Paralichthys adspersus* (Steindachner, 1867) (Pleuronectiformes) from northern Chile. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 91, 301-306.

Overstreet, R. M. (1997). Parasitological data as monitors of environmental health. *Parassitologia*, 39, 169–175.

Overstreet, R. M., Cook, J. O., & Heard, R. W. (2009). Trematoda (platyhelminthes) of the Gulf of Mexico. *Gulf of Mexico origin, waters, and biota: biodiversity*. Texas A&M University Press, Austin. Texas, USA.

Palm, H. W. (2011). Fish parasites as biological indicators in a changing world: can we monitor environmental impact and climate change? *Progress in Parasitology*, 223-250. Springer, Berlin, Heidelberg.

Pech, D., Vidal-Martínez, V. M., Aguirre-Macedo, M. L., Gold-Bouchot, G., Herrera-Silveira, J., Zapata-Pérez, O., & Marcogliese, D. J. (2009). The checkered puffer (*Spheroides*

testudineus) and its helminths as bioindicators of chemical pollution in Yucatan coastal lagoons. *Science of the Total Environment*, 407, 2315-2324.

PEMEX (2002) *Evaluación de Riesgo Ecológico e Impacto de las Operaciones Industriales (Análisis General)*. Exploración y Producción. PEMEX. México. 257 pp. www.pemex.org.mx. 16/02/2021.

PEMEX (2003) *Anuario Estadístico 2003*. Exploración y Producción. PEMEX. México. 64 pp. www.pemex.org.mx. 16/02/2021.

Poulin, R. (2006). Variation in infection parameters among populations within parasite species: intrinsic properties versus local factors. *International Journal for Parasitology*, 36, 877-885.

Poulin, R., Kamiya, T., & Timi, J. (2015). Parasites as biological tags of fish stocks: a meta-analysis of their discriminatory power. *Parasitology*, 142, 145.

Price, P. W. (1980). *Biology of Parasites. Princeton University Monograph*. New Jersey. USA.

Quintanilla-Mena, M., Gold-Bouchot, G., Zapata-Pérez, O., Rubio-Piña, J., Quiroz-Moreno, A., Vidal-Martínez, V. M., Aguirre-Macedo, M. L & Puch-Hau, C. (2020). Biological responses of shoal flounder (*Syacium gunteri*) to toxic environmental pollutants from the southern Gulf of Mexico. *Environmental Pollution*, 258, 113669.

Randall, J. E., & Vergara, R. (1978). Bothidae. *FAO Species Identification Sheets for Fishery Purposes, Western Central Atlantic*. <http://www.fao.org/3/ag419e/ag419e00.htm>. 03/12/2020

Rodríguez-González, A., & Vidal-Martínez, V. M. (2008). Las comunidades de helmintos del lenguado (*Symphurus plagiusa*) en la costa de Campeche, México. *Revista mexicana de Biodiversidad*, 79, 159-173.

SAGARPA [Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación] (2016). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. 2013*. México: Comisión de Acuicultura y Pesca.

Sánchez-Gil, P., Yáñez-Arancibia, A., & Amezcua-Linares, F. (1981). Diversidad, distribución y abundancia de las especies y poblaciones de peces demersales de la Sonda de Campeche (verano 1978). *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 8, 209-240.

Sánchez-Ramírez, C., & Vidal-Martínez, V. M. (2002). Metazoan parasite infracommunities of Florida pompano (*Trachinotus carolinus*) from the coast of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Journal of Parasitology*, 88, 1087-1094.

Sasal, P., Mouillot, D., Fichez, R., Chifflet, S., & Kulbicki, M. (2007). The use of fish parasites as biological indicators of anthropogenic influences in coral-reef lagoons: a case study of Apogonidae parasites in New-Caledonia. *Marine Pollution Bulletin*, 54, 1697-1706.

Seefeld, K., & Linder, E. (2007). Statistics using R with biological examples. *Durham: University of New Hampshire*. Durham. USA.

Siddall, R., & Desclers, S. (1994). Effect of sewage sludge on the miracidium and cercaria of *Zoogonoides viviparus* (Trematoda: Digenea). *Helminthologia*, 31, 143-153.

Siddall, R., Koskivaara, M., & Valtonen, E. T. (1997). Dactylogyrus (Monogenea) infections on the gills of roach (*Rutilus rutilus*) experimentally exposed to pulp and paper mill effluent. *Parasitology*, 114, 439-446.

Soler-Jiménez, L.C., Hernández-Núñez, E., Velázquez-Abunader, I., Centeno-Chalé, A & Vidal-Martínez, V.M. (2020) Polycyclic aromatic hydrocarbons in the cestode *Oncomegas wagneri* parasite of Mexican flounder *Cyclosetta chittendeni*. *Parasitology Research*, 119, 903–913

Schmidt, V., Zander, S., Körting, W., Broeg, K., von Westernhagen, H., Dizer, H., & Steinhagen, D. (2003). Parasites of flounder (*Platichthys flesus*) from the German Bight, North Sea, and their potential use in biological effects monitoring. *Helgoland Marine Research*, 57, 262-271.

Sures, B. (2001). The use of fish parasites as bioindicators of heavy metals in aquatic ecosystems: a review. *Aquatic Ecology*, 35, 245-255.

Sures, B. (2004) Environmental parasitology: relevancy of parasites in monitoring environmental pollution. *Trends in parasitology*, 20, 170-177.

Sures, B. (2007). Host-parasite interactions from an ecotoxicological perspective. *Parassitologia*, 49, 173-176.

Sures, B. (2008) Environmental parasitology. Interactions between parasites and pollutants in the aquatic environment. *Parasite*, 15, 434–438.

Sures, B. & Reimann, N. (2003) Analysis of trace metals in the Antarctic host-parasite system *Notothenia coriiceps* and *Aspersentis megarhynchus* (Acanthocephala) caught at King George Island, South Shetland Islands. *Polar Biology*, 26, 680-686.

Sures, B., & Siddall, R. (1999). *Pomphorhynchus laevis*: the intestinal acanthocephalan as a lead sink for its fish host, chub (*Leuciscus cephalus*). *Experimental Parasitology*, 93, 66-72.

Sures, B., Siddall, R., & Taraschewski, H. (1999). Parasites as accumulation indicators of heavy metal pollution. *Parasitology Today*, 15, 16-21.

Sures, B., Taraschewski, H., & Rokicki, J. (1997). Lead and cadmium content of two cestodes, *Monobothrium wagneri* and *Bothriocephalus scorpii*, and their fish hosts. *Parasitology Research*, 83, 618-623.

Thompson, R. M., Mouritsen, K. N., & Poulin, R. (2005). Importance of parasites and their life cycle characteristics in determining the structure of a large marine food web. *Journal of Animal Ecology*, 74, 77-85.

Vega-Cendejas, C. M., Hernández, M., & De La Cruz Agüero, G. (1997). Los Peces de la Reserva de Celestún. CINVESTAV Mérida. PRONATURA. A. C. Península de Yucatán, México.

Vidal-Martínez, V. M. (2007). Helminths and protozoans of aquatic organisms as bioindicators of chemical pollution. *Parassitologia*, 49, 177.

Vidal-Martínez, V. M., Aguirre-Macedo, M. L., Del Rio-Rodríguez, R., Gold-Bouchot, G., Rendón-von Osten, J., & Miranda-Rosas, G. A. (2006). The pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum*, its symbionts and helminths as bioindicators of chemical pollution in Campeche Sound, Mexico. *Journal of helminthology*, 80, 159-174.

Vidal-Martínez, V.M., Aguirre-Macedo M. L., Noreña-Barroso, E., Gold-Bouchot G. & Caballero-Pinzón, P.I. 2002. Los metazoarios parásitos del bagre *Ariopsis assimilis* como indicadores de contaminación química de la Bahía de Chetumal, México. *Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia*. Universidad de Quintana Roo, Chetumal, Q. Roo, México, 149-160.

Vidal-Martínez, V. M., Aguirre-Macedo, M. L., Noreña-Barroso, E., Gold-Bouchot, G., & Caballero-Pinzón, P. I. (2003). Potential interactions between metazoan parasites of the Mayan catfish *Ariopsis assimilis* and chemical pollution in Chetumal Bay, Mexico. *Journal of Helminthology*, 77, 173-184.

Vidal-Martínez, V. M., Aguirre-Macedo, M. L., Vivas-Rodríguez, C. M., & Moravec, F. (1998). Las Comunidades de Macroparasitos del Mero, *Epinephelus morio* (Pisces: Serranidae), en la Península de Yucatan, Mexico. *Proceedings of the 50th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. 50, 764–779.

Vidal-Martínez, V. M., Centeno-Chalé, O. A., Torres-Irineo, E., Sánchez-Ávila, J., Gold-Bouchot, G., & Aguirre-Macedo, M. L. (2014). The metazoan parasite communities of the shoal flounder (*Syacium gunteri*) as bioindicators of chemical contamination in the southern Gulf of Mexico. *Parasites & Vectors*, 7, 1-14.

Vidal-Martínez, V. M., Ocaña, F. A., Soler-Jiménez, L. C., García-Teh, J. G., Aguirre-Macedo, M. L., May-Tec, A. L., Árcega-Cabrera, F. & Herrera-Silveira, J. (2021). Functional Groups of Metazoan Parasites of the Dusky Flounder (*Syacium papillosum*) as Bioindicators of Environmental Health of the Yucatan Shelf. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 1-6.

Vidal-Martínez, V. M., Pech, D., Sures, B., Purucker, S. T., & Poulin, R. (2010). Can parasites really reveal environmental impact?. *Trends in Parasitology*, 26, 44-51.

Vidal-Martínez, V. M., Torres-Irineo, E., Romero, D., Gold-Bouchot, G., Martínez-Meyer, E., Valdés-Lozano, D., & Aguirre-Macedo, M. L. (2015). Environmental and anthropogenic factors affecting the probability of occurrence of *Oncomegas wagneri* (Cestoda: Trypanorhyncha) in the southern Gulf of Mexico. *Parasites & Vectors*, 8, 609.

Vidal-Martínez, V.M., Velázquez-Abunader, I., Centeno-Chalé, O.A., May-Tec, A.L., Soler-Jiménez, L.C., Pech, D. & Hernández-Mena, D.I. (2019). Metazoan parasite infracommunities of the dusky flounder (*Syacium papillosum*) as bioindicators of environmental conditions in the continental shelf of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Parasites & Vectors*, 12, 1-18.

Williams, H. H., MacKenzie, K., & McCarthy, A. M. (1992). Parasites as biological indicators of the population biology, migrations, diet, and phylogenetics of fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2, 144-176.

Yamaguti, S. (1971). Synopsis of digenetic trematodes of vertebrates. *Synopsis of digenetic trematodes of vertebrates*. Keigaku Publishing Co, Japan, 1, 1047.

Yáñez-Arancibia, A. (1986). *Los peces demersales de la plataforma continental del Sur del Golfo de México. 1. caracterización ambiental, ecología y evolución de las especies, poblaciones y comunidades*. Publicación Especial N° 9. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. México.

Yáñez-Arancibia, A., & Sánchez-Gil, P. (1983). Environmental behavior of Campeche sound ecological system, off Términos Lagoon, Mexico: preliminary results. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 10, 117-136.

Yáñez-Arancibia, A., & Sánchez-Gil, P. (1988). *Ecología de los recursos demersales marinos: fundamentos en costas tropicales*. AGT. México.

Yeomans, W. E., Chubb, J. C., & Sweeting, R. A. (1997). Use of protozoan communities for pollution monitoring. *Parassitologia*, 39, 201-212.