



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

Dieta y adaptaciones de la especie *Typhlatya mitchelli* de  
los sistemas anquihalinos de la Península de Yucatán

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**B I Ó L O G A**  
P R E S E N T A:  
**YVETTE CRUZ DE LA GARZA**



TUTOR: DRA. ELVA ESCOBAR BRIONES

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, DF. 2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. ANTECEDENTES.....	4
2.1 ESTUDIOS AMBIENTALES.....	4
2.2 CRUSTÁCEOS.....	5
2.3 DIETA.....	6
2.4 SETAS.....	7
2.5 ISOTOPÍA ESTABLE.....	7
3. ÁREA DE ESTUDIO.....	7
3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	7
3.2 SISTEMA ACUÁTICO.....	7
3.3 FISICOQUÍMICA.....	8
3.4 SISTEMA CRUSTACEO.....	8
4. HIPÓTESIS Y RELEVANCIA DE ESTE ESTUDIO.....	9
4.1 FUNDAMENTO.....	9
5. OBJETIVO.....	10
5.1 METAS PARTICULARES.....	10
6. MATERIAL Y MÉTODOS.....	10
6.1 COLECTA DE MATERIAL EN CAMPO Y PRESERVACIÓN.....	10
6.2 TRABAJO DE LABORATORIO.....	11
6.3 ESTRATEGIA PARA EL MONTAJE DE LAS PREPARACIONES DE P1, P2 Y P4.....	12
6.4 SISTEMA DE DENOMINACIÓN SEGUIDO PARA IDENTIFICAR Y NOMBRAR LAS ESTRUCTURAS DE P1 Y P2.....	13
6.5 ESTRATEGIA PARA REPORTAR LOS RESULTADOS.....	14
6.6 DESCRIPCIÓN DE LAS DIETAS.....	14
6.7 ANÁLISIS EN EL ESPECTROMETRO DE MASAS, INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	15
6.8 ESTABLECIMIENTO DEL PAPEL DE LA HALOCLINA COMO SUPERFICIE PARA LA ACUMULACIÓN DE PARTÍCULAS.....	16
7. RESULTADOS.....	17
7.1 IDENTIFICACIÓN.....	17
7.2 CLASIFICACIÓN DE SETAS EN P1 Y P2.....	21
7.3 DIETA DE <i>Typhlatya mitchelli</i> .....	24
7.5 FACTORES AMBIENTALES QUE DESCRIBEN EL HÁBITAT.....	28
7.4 DENSIDAD DE <i>Typhlatya mitchelli</i> .....	29
8. DISCUSIÓN.....	34
8.1 IDENTIFICACIÓN A NIVEL DE ESPECIE.....	34
8.2 ESTRUCTURAS ESPECIALIZADAS EN P1 Y P2 DE <i>Typhlatya mitchelli</i> .....	34
8.3 DIETA DE <i>Typhlatya mitchelli</i> .....	36
8.4 COLUMNA DE AGUA.....	38
9. CONCLUSIONES.....	43
10. REFERENCIAS.....	45
ÍNDICE DE TABLAS.....	49
ÍNDICE DE FIGURAS.....	50
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	51
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	51
AGRADECIMIENTOS.....	56

## RESUMEN

El camarón *Typhlatya mitchelli* es un crustáceo decápodo endémico de los sistemas anquihalinos de la Península de Yucatán y ocurre tanto en agua dulce como en agua, la concentración mayor se localiza en la masa de agua dulce. Este estudio describe la dieta a partir del análisis de los contenidos gástricos y de la composición isotópica estable ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ), analiza las variaciones en la morfología de las setas de los pereiópodos uno y dos (P1 y P2) presumiblemente adaptaciones con fines alimenticios, describe el hábitat y discute la importancia de la haloclina como una frontera física que retiene material particulado de interés para alimentación de la especie.

El hábitat de la especie se caracteriza por concentraciones de oxígeno disuelto en intervalos de 0.5 a 6.5 mg/L en la capa de agua dulce, 0.2 a 0.5 mg/L en la haloclina y 1.0 a 1.5 mg/L en la capa de agua salada. El pH varía de 7.3 a 8.0 en la capa de agua dulce, de 6.9 a 7.2 en la haloclina y 7.3 para la masa de agua salada. La salinidad en la masa de agua dulce fue 0 con una densidad de ( $\sigma$ ) 0.996 a 0.997  $\text{kg m}^{-3}$ , de 10.5 a 15 y  $\sigma$  0.997 a 1.009  $\text{kg m}^{-3}$  para la haloclina y de 32 a 35 y  $\sigma$  1.009 a 1.024  $\text{kg m}^{-3}$  para la masa de agua salada. La densidad corporal de *T. mitchelli* varía de 1.147 a 1.222  $\text{kg m}^{-3}$  pudiendo cruzar la haloclina y alimentarse de materia orgánica particulada retenida en ésta.

Los contenidos gástricos de los 24 ejemplares analizados permitieron reconocer un predominio de partículas inorgánicas y bacterias de lo que pudiera ser *biofilm*. La composición isotópica estable ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ) de los ejemplares recolectados en el interior de la cueva varió de -44.69 a -31.80 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  y de -0.54 a 9.34 ‰  $\delta^{15}\text{N}$ ; ambos indicadores sugiriendo una fuente alimenticia de origen quimioautotrófico, probablemente ubicado en el nivel trófico bacterívoro o detritívoro de la trama troglobia. Lo anterior se comparó con *Typhlatya campechana* colectada en la zona de penumbra cuya composición isotópica fue de -21.69 a -21.05 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  y 7.31 a 7.61 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  cuya dieta es de origen fotoautotrófico sostenida por materia orgánica particulada.

Las setas reconocidas en la parte media distal de los dedos de las quelas de los pereiópodos uno y dos (P1 y P2) de *T. mitchelli* son de tres tipos principalmente, setas simples, setas denticuladas y setas no denticuladas.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Península de Yucatán presenta entre otros hábitats, sistemas anquihalinos; estos sistemas consisten en cuerpos de agua polihalina (diferentes salinidades) usualmente con una exposición restringida al aire, siempre con conexiones subterráneas con el mar más o menos extensas, que muestran notable influencia tanto marina como terrestre (Stock *et al.*, 1986).

Los sistemas anquihalinos pueden formarse a través de diferentes mecanismos entre los cuales se cuentan la inundación marina debida a cambios en el nivel medio del mar en períodos interglaciares, la disolución de la roca caliza por el contacto con el agua dulce la cual ingresa a los sistemas por percolación o por el colapso de cuevas o dolinas (Marín y Perry 1994). Estos complejos sistemas subterráneos inundados representan la única fuente de agua dulce en esta zona.

Las cuevas anquihalinas son pulsadas estacionalmente por la importación de fuentes de carbono biogénico de la selva y cenotes (Beddows, 2004). Un número elevado de especies son endémicas a estos ecosistemas (Humphreys *et al.*, 1999). La adaptación de cada una de ellas les permite vivir bajo condiciones de oscuridad permanente y limitaciones de alimento (Humphreys *et al.*, 1999).

El camarón *Typhlatya mitchelli* es un carideo (decápodo) (McLaughlin, 1980) perteneciente a la familia Atyidae. Esta especie ha sido encontrada habitando sistemas anquihalinos (Tabla 1), en oscuridad total y penumbra profundidades de entre 0.5 y 8 m, usualmente en condiciones de concentración oxígeno disuelto en el agua casi nulas (Hobbs y Hobbs, 1976).

Los pereiópodos 1 y 2 (P1, P2) presentan estructuras especializadas denominadas setas; son apéndices multiarticulados distintivos de los crustáceos. Estas estructuras se encuentran en posiciones específicas dependiendo de la función del apéndice o sus partes y presentan denominaciones referidas a su ubicación y tipo (Watling, 1989). En *T. mitchelli* las setas de la región distal de la cara interna de los dedos fijo y móvil de P1 y P2 se citan como carácter morfológico distintivo del género (Hobbs y Hobbs, 1976).

Los trabajos publicados acerca de la especie sugieren como hábitat la columna de agua en la cual los organismos atrapan materia orgánica particulada. La diversidad y especialización observadas en las setas de *T. mitchelli* ejemplifica el éxito en el

aprovechamiento de recursos energéticos ya que los ambientes anquihalinos en los que habita son ecosistemas restringidos, sin presencia de luz y pocas fuentes de alimento (Ilfie, 1993).

La literatura refiere que la abundancia de esta especie es reducida en los conductos y se presentan mayormente en algunas áreas de las cuevas, como las zonas de penumbra o zonas en donde es acumulada materia organica en suspensión (Pohlman *et al.*, 1997). La especie ocurre predominantemente asociada a la masa de agua dulce de los conductos y en los cenotes (Hobbs y Hobbs, 1976), sin embargo algunos ejemplares se agregan en la masa de agua marina (Hobbs y Hobbs, 1976).

Este estudio describe la diversidad de setas en P1 y P2 y con base en la composición isotópica estable del tejido de los ejemplares propone una posible dieta ( $\delta^{13}\text{C}$ ) y la probable posición trófica del camarón en la red trófica del sistema ( $\delta^{15}\text{N}$ ) con apoyo en resultados de observaciones del contenido gástrico.

## 2. ANTECEDENTES.

Hasta ahora, se han descrito 17 especies del género *Typhlatya* (Tabla 1); de éstas, cuatro son insulares (Islas Galápagos, Bermudas, Ascención y Caicos) habitando aguas salobres (Scott, 2003) y las restantes son continentales y habitan aguas dulces. Cuatro  
Cinco? especies de *Typhlatya* son endémicas de la Península de Yucatán (*T. mitchelli* en Quintana Roo, *T. campechae* en Campechey *T. pearsei*, *T. iliffeiy* *T. dzilamensis* en Yucatán; Álvarez et al., 2005).

Las especies del género *Typhlatya* evolucionaron de un ancestro marino común en aguas oceánicas en el Atlántico extendiéndose con ayuda de las corrientes hacia el oeste por el mar Caribe hasta el Pacífico (Iliffe, 1986). También se ha sugerido su origen marino vinculado a la fragmentación de Pangea durante el Jurásico (Iliffe, 1986).

La aparición del género en el mar de Tethys sugiere un ancestro marino de latitudes bajas, que se desarrolló durante el Cretácico tardío (Sanz y Platvoet, 1995). La tectónica de placas y la actividad en la cuenca del Protocaribe contribuyó a la generación de poblaciones en la Península de Yucatán, Antillas y Galápagos. De acuerdo a Álvarez *et al.* (2005) el ancestro común que dio origen a las especies que se introdujeron al ambiente de las cuevas desapareció sin dejar registro fósil.

Tabla 1 Especies del género *Typhlatya* y su ubicación geográfica actual. (Álvarez *et al.*, 2005)

<b>Especie</b>	<b>Localidades de ocurrencia</b>	<b>Autor</b>
<i>T. campecheae</i>	Campeche, México	Hobbs y Hobbs, 1976
<i>T. consobrina</i>	Provincias de Pinar del Río y Camagüey, Cuba	Botosaneanu y Holthuis, 1970
<i>T. dzilamensis</i>	Estado de Yucatán, México	Álvarez <i>et al.</i> , 2005
<i>T. elenae</i>	Isla de la Juventud y Provincia de Matanzas, Cuba	Juarrero, 1994
<i>T. galapagensis</i>	Isla de Sta. Cruz, Islas Galápagos	Monod y Cals, 1970 (Hobbs y Hobbs 1976)
<i>T. garciadebrasi</i>	Provincia de Matanzas, Cuba	Juarrero y Ortiz, 2000
<i>T. garciai</i>	Provincia de Oriente, Cuba e Islas Caicos	Chace, 1942
<i>T. iliffei</i>	Península de Yucatán, México	Hart y Manning, 1981 (Sanz y Platvoet, 1995)
<i>T. kakuki</i>	Islas Crooked y Acklins, Bahamas	Álvarez <i>et al.</i> , 2005
<i>T. miravetensis</i>	Provincia de Castellón, España	Sanz y Platvoet, 1995
<i>T. mitchelli</i>	Quintana Roo, México	Hobbs y Hobbs, 1976
<i>T. monae</i>	Isla Mona, Pto. Rico, Islas Leeward, Barbuda	Chace, 1954
<i>T. pearsei</i>	Estado de Yucatán, México	Creaser, 1936 (Hobbs y Hobbs 1976)
<i>T. pretneri</i>	Herzegovina	Matjasic, 1956
<i>T. rogersi</i>	Islas Asunción	Chace y Manning, 1972
<i>T. taina</i>	Cuba	Estrada y Gómez, 1987
<i>T. utilaensis</i>	Utila, Honduras	Álvarez <i>et al.</i> , 2005

2.2.2 ESTIGOBIOS. Es poco probable que la estigofauna se originara en cuevas del mar profundo ya que los periodos de anoxia durante el Terciario Medio la hubieran extinguido (Stock, 1986). La fauna troglobia descende de ancestros cuyo origen pudiera ser críptica y/o intersticial dada la adaptación a condiciones afóticas (Stock, 1986). La evolución de la fauna cavernícola presupone un modelo de especies preparadas a colonizar primero la zona de penumbra y subsecuentemente el interior de la cueva. Los colapsos del techo de las cuevas y/o cambios en el nivel del mar han aislado zonas y promueven endemismos con adaptaciones similares de las especies (Iliffe, 1986). Un ejemplo son las estructuras oculares internas reducidas en dos especies de *Procaris* con menor capacidad de absorción del espectro de luz (Mejía y Hartnoll, 2005). El consumo bajo de oxígeno de especies estigobióticas se relaciona con las características de las cuevas que habitan y el grado de adaptación de cada una (Mejía y López, 2005).

2.3 DIETA. Las especies que habitan las cuevas han desarrollado adaptaciones o troglomorfismos (características físicas de un troglobio o estigobionte; i.e. ojos y pigmentos reducidos, apéndices largos, quimiorreceptores; Christansen y Moberg, 1988) para sobrevivir en este ambiente. Dichas adaptaciones que sirven para mejorar la recepción química y son fundamentales en la obtención de alimento se reflejan en el aumento del tamaño o disminución de los apéndices, dependiendo de los hábitos de la especie (Mejía y López, 2006). En el ambiente anquihalino el origen de alimento proviene ya sea de las partículas en suspensión o materia orgánica particulada (MOP) y de la materia orgánica disuelta (MOD) que es aprovechada por las bacterias (Pohlman *et al.*, 1997). La primera categoría proviene del material generado en el cenote, transportado lateralmente a la cueva (Wotton, 1996) y la segunda categoría proviene de la materia orgánica disuelta precolada a través del subsuelo en la selva (Wotton, 1996).

2.4 SETAS. Las setas son estructuras usadas como caracteres de identificación y clasificación de los crustáceos en los que se han reconocido tres tipos de setas en *Gonodactylus* (Reaka, 1973) o hasta cuatro tipos (anuladas con y sin sétulas, no anuladas, robustas y pequeñas; Watling, 1989). A lo largo de la muda las setas sufren cambios, resultado de la variación en las concentraciones de quitina (Reaka, 1973).

2.5 ISOTOPIA ESTABLE. Los isótopos estables permiten el trazado de rutas tróficas y determinación de las dietas (Guerrero y Berlanga, 2000). En la Península de Yucatán se ha descrito que al menos tres fuentes sostienen la cadena trófica anquihalina de los sistemas kársticos (Pohlman *et al.*, 1997; Yager y Madden, 2002). En organismos muy pequeños la variabilidad isotópica de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  se atribuye a la quitina del exoesqueleto de crustáceos y puede mejorarse en la estrategia de preparación de la muestra (Feuchtmayr y Grey, 2003), no se atribuye a la edad ni sexo de los organismos (Schimmelmann y DeNiro, 1986). La variación en los resultados puede prevenirse si se aplica a los organismos D-glucosamina hidrociorada proveniente de los hidrolizados de quitina (Schimmelmann y DeNiro, 1985).

### 3. ÁREA DE ESTUDIO

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA. La Península de Yucatán es una plataforma calcárea que se originó en el Cenozoico, en promedio se encuentra a 10 msnm (López Ramos, 1975).

3.4 SISTEMA CRUSTACEO. El Sistema Crustaceo se encuentra ubicado en la carretera Tulum - Puerto Morelos. Es un sistema anquihalino con dos entradas principales (Fig. 1): el cenote Daniel Diamante, que es un cenote de estrada lateral y el cenote Pepe's Pedes Palace, que es un cenote de paredes verticales (Fig. 1) (Yager y Madden, 2002). A 2.4 m de profundidad, en la entrada de la cueva Pepe Pede's Palace, existe una capa de sulfuro de hidrogeno tánico a lo largo de la cual se generan tapetes bacterianos (Yager y Madden, 2002). El techo de la cueva presenta una fisura que tiene taninos, agua rica en sulfuro y detrito de la superficie en suspensión, lo que sostiene a una gran población de bacterias y protozoarios.

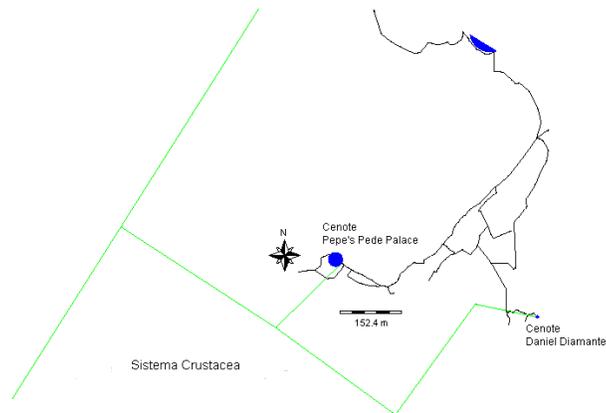


Figura 1 Vista del área mapeada hasta hoy del Sistema Crustaceo (Tomado de Yager y Madden, 2002).

#### 4. HIPÓTESIS Y RELEVANCIA DE ESTE ESTUDIO

La disponibilidad de alimento en el ambiente anquihalino -un ecosistema con alta heterogeneidad estructural (geomorfológica, hidrodinámica y biogeoquímica) - es escasa, lo que representa una presión de selección alta; permaneciendo aquellos caracteres que confieran el desarrollo de especializaciones ventajosas para aprovechar el limitado recurso energético (Humphreys *et al.*, 1999). Existe la posibilidad de que *T. mitchelli* utilice diferentes sitios en la cueva en la búsqueda de su alimento; por una parte en la haloclina y por la otra, consumiendo el biofilm en las paredes de la cueva.

Por otro lado, las setas de la parte apical de las quelas de los crustáceos son utilizadas para la obtención de alimento (Watling, 1989) y es de esperarse que la morfología de éstas sea especializada para cada tipo alimenticio. Con base en lo anterior, se espera que la especie presente setas diferentes de acuerdo al alimento disponible: para filtrar algas en la zona de penumbra, materia orgánica particulada y/o bacterias en el interior de la cueva. En forma adicional, la haloclina representa una barrera fisiológica para los crustáceos así como una frontera física que retiene partículas en suspensión. Esta región proporciona otra posible superficie de acumulo de alimento para *T. mitchelli*.

Con base en lo anterior se proponen las siguientes hipótesis.

Ho<sub>1</sub>: Las setas apicales de las quelas de los apéndices P1 y P2 de *Typhlatya mitchellison* similares entre sí

Ha<sub>1</sub>: Las setas apicales de las quelas de los apéndices P1 y P2 de *Typhlatya mitchellison* diferentes entre sí y permiten tener funciones diversas para la captura de alimento.

Ho<sub>2</sub>: La composición isotópica de los organismos que habitan la penumbra y de los que habitan la cueva es la misma, evidenciando una dieta basada en bacterias quimioautotrofas.

Ha<sub>2</sub>: La composición isotópica de los organismos que habitan en la penumbra y de los que habitan en la cueva presenta diferencias en los valores, evidenciando una dieta diferente dependiendo del área del sistema en el cual habitan.

## 5. OBJETIVO

Describir la alimentación de *Typhlatya mitchelli*, especie de camarón carideo que habita los sistemas anquihalinos de la Península de Yucatán con el fin de contribuir al entendimiento de la ecología de los organismos estigobios.

### 5.1 METAS PARTICULARES.

1. Evaluar la variedad en tipos de setas de las quelas de los pereiópodos (P1 y P2) de *Typhlatya mitchelli*.
2. Caracterizar la composición isotópica estable  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de *Typhlatya mitchelli* para reconocer el origen posible del alimento y la posición trófica del camarón respectivamente.
3. Analizar los contenidos gástricos en ejemplares del camarón carideo *Typhlatya mitchelli*
4. Describir el hábitat donde se encuentra el camarón carideo *Typhlatya mitchelli*.
5. Reconocer el papel funcional de las setas en las quelas de los pereiópodos (P1 y P2)

## 6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 COLECTA DE MATERIAL EN CAMPO Y PRESERVACIÓN. Se contó con un total de cuarenta y dos organismos de la especie del camarón *Typhlatya mitchelli* recolectados en diferentes fechas y sistemas (Tabla 4).

Para la recolecta de los ejemplares se realizaron inmersiones usando lámparas con luz blanca en la cueva a lo largo de un transecto definido por la línea guía sobre la cual se establecieron con 17 estaciones a profundidades de 9.75 a 17.98 m (Tabla 2). Otros organismos fueron recolectados en la zona de penumbra mediante buceo libre (Tabla 4).

Tabla 1 Profundidad (Z) en metros (m) de cada una de las localidades de recolecta de *T. mitchelli* a lo largo del transecto en el sistema anquihalino Crustaceo.

ID	Zm	ID	Zm
1	9.75	10	17.06
2	14.63	11	17.98
3	14.02	12	16.76
4	13.10	13	16.76
5	14.32	14	17.06
6	13.41	15	16.76
7	14.02	16	16.45
8	17.67	17	16.76
9	17.06		

Para evitar dañar a los organismos durante las colectas se utilizaron frascos de plástico de boca ancha con los cuales a través de succión se recolectaron los organismos. Al término de los buceos 33 organismos se transfirieron a recipientes de vidrio, se fijaron con etanol al 70% y se etiquetaron. Los nueve restantes (todos ellos procedentes del sistema Crustaceo) se envolvieron individualmente en papel aluminio debidamente rotulado y colocados juntos en una bolsa ziplock (16.5 cm x 14.9 cm) se transportaron en una hielera con bloques congelados hasta el laboratorio en la Unidad Académica del ICML en Puerto Morelos para posteriormente congelarse a -20 °C.

## 6.2 TRABAJO DE LABORATORIO.

6.2.1 IDENTIFICACION. Los ejemplares se identificaron con apoyo de un microscopio estereoscópico Carl Zeiss (STEMI SR) con aumento 0.2x, 0.8x, 1.2x, 2x y 5x y oculares W 10x/25 para reconocer los caracteres de identificación y llevar a cabo una

comparación morfológica. Las claves que se utilizaron para la identificación de los ejemplares fueron las de Sanz y Platvoet (1995), Álvarez *et al.* (2005), Hobbs y Hobbs (1976) y Chace (1972).

6.2.2 ESTRATEGIAS DE DISECCIÓN. Cada uno de los 33 individuos se colocaron en una caja de Petri con agua destilada para evitar desecación y se observaron bajo un microscopio estereoscópico Carl Zeiss STEMI SR con aumentos de 2x y 5x. La longitud total de cada organismo se determinó con una reglilla micrométrica desde el extremo apical del rostro hasta el del telson (Fig. 2). Posteriormente se removieron los pereiópodos P1, P2 para poderlos ver al microscopio individualmente así como P4 por el número de las espinas en su superficie flexora como carácter de identificación a nivel de especie (Hobbs y Hobbs, 1976). Una vez disectados, los pereiópodos fueron colocados en viales perfumeros de 5 cm con etanol al 75% para su conservación y debidamente etiquetados y anexados a los especímenes de procedencia hasta el momento de montarlos individualmente en portaobjetos con glicerina cubiertos con su respectivo cubreobjeto.

Así mismo se sexaron los ejemplares por la presencia de estructuras reproductivas en el quinto par de pleópodos en machos, en las hembras el gonoporo se encuentra en la coxa del tercer pereiópodo (McLaughlin, 1980). Dichas estructuras se localizaron con asistencia de unas pinzas de relojero Inox del #3.

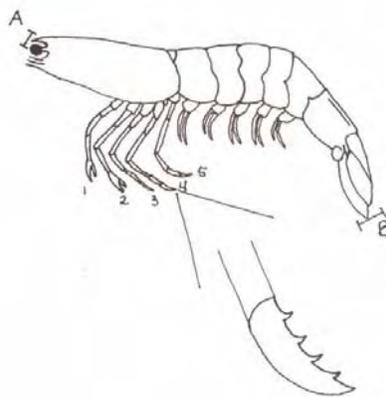


Figura 1 Esquema del área medida en cada ejemplar; A – B; y vista del P4 (Elaboración; Cruz 2007).

6.2.3 RECONOCIMIENTO DE LA DIETA EN *T. mitchelli*. Los decápodos cuentan con una bolsa gástrica conectada a la apertura bucal por el surco bucal (McLaughlin, 1980). Una vez

que el alimento ha sido procesado en la bolsa gástrica, pasa al estómago pilórico compuesto de placas y canales que dirigen el alimento al intestino medio el cual se une al intestino grueso a la altura del ciego o *cecum* localizado en la parte posterior de la región cardiaca del cefalotórax (Fig. 3). El intestino grueso se extiende por el abdomen y en la sexta somita abdominal se ensancha para formar el recto que termina en el ano en la parte ventral del telson (McLaughlin, 1980). La bolsa gástrica es dorsal y se localiza en la región gástrica del cefalotórax (Fig. 3) por lo que para su extracción, es necesario levantar el cefalotórax por la unión membranal con el abdomen y deslizar una aguja de disección pegada a la cutícula hasta la parte superior de la región abdominal torácica y jalar suavemente la bolsa gástrica que al extraerse se rompe en el intestino delgado obteniéndose únicamente la bolsa gástrica y el estomago pilórico. Para realizar esta disección se empleó un microscopio estereoscópico Carl Zeiss STEMI SR con aumento de 3x y se sostuvo cada organismo por el abdomen con pinzas Inox y con otras se rompió la membrana para elevar el cefalotórax y realizar la extracción. Una vez removidas, cada una de las bolsas gástricas fueron colocadas individualmente en portaobjetos debidamente rotulado indicando a que organismo pertenecían. Para evitar la desecación durante la observación se les agregó una gota de glicerina y su respectivo cubreobjetos. Cada preparación se observó en el microscopio óptico Olympus CH-B145-T-2 con aumentos de 40 y 100x.

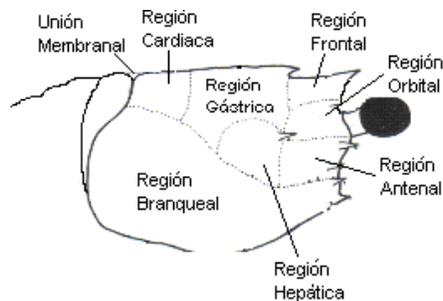


Figura 2 Vista lateral de las regiones del cefalotórax de un carideo. Modificada de McLaughlin (1980).

### 6.3 ESTRATEGIA PARA EL MONTAJE DE LAS PREPARACIONES DE P1, P2 Y P4.

6.3.1 MICROSCOPIO ÓPTICO. El P4 de cada uno de los 30 ejemplares se colocó directamente después de la disección en un portaobjetos excavado debidamente rotulado para identificar su procedencia y con una gota de agua destilada. Cada

portaobjetos se cubrió con cubreobjetos para observarse en un microscopio Olympus CH-BI45-T-2 con aumento 10x, se registró el número de espinas presentes en el margen inferior del dactilopodito para poder identificar a los ejemplares (Fig. 2).

Los pereiópodos P1 y P2, disectados de los 30 especímenes, se colocaron en glicerina en placas desecadoras debidamente rotuladas por un periodo de 48 horas para transparentar los artejos. Posteriormente y para contrastar las microestructuras (setas, espinas, etc.) de cada artejo y porción distal de las quelas éstas se colocaron individualmente en viales rotulados con solución de verde rápido FCF I.C. 42053 por 24 horas. Esta solución se preparó con 10 mL de agua destilada filtrada y la cantidad de verde rápido que se pegue a una pipeta Pasteur previamente mojada. El verde rápido se incorpora en la quitina de las articulaciones y bordes de la cutícula marcando microestructuras y topografía superficial de los artejos. Al término de 24 horas las quelas se colocaron individualmente en portaobjetos con cubreobjetos debidamente rotulados. La clave empleada para ello incluyó las iniciales Ty (*Typhlatya*), un número de identificación de cada espécimen (Tabla 4), P (pereiópodo) 1 ó 2 y D (derecha) o I (izquierda) correspondiendo a la procedencia de la quela. Cada preparación se observó al microscopio Olympus CH-BI45-T-2 a un aumento 100x para documentar la posición, diversidad y frecuencia de las microestructuras siguiendo para ello la clasificación de microestructuras propuesta por Watling (1989).

6.3.2 MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO (MEB). Una vez realizado el registro de la posición, tipo de microestructuras y frecuencia de éstas, se eligieron algunas quelas para llevar a cabo observaciones detalladas al MEB. Para ello se eligieron los pereiópodos P1 y P2 de los especímenes recolectados tanto en la zona oscura del sistema Crustáceo como en la zona de penumbra de Monte Bravo, Champotón (Tabla 4). El procedimiento de preparación para cada pereiópodo incluyó las fases de deshidratación, limpieza, recubrimiento y observación.

Deshidratación.- Las quelas contenidas en los viales con etanol al 70% se colocaron secuencialmente en etanol al 75%, 80%, 85%, 90%, 95% y 100% (absoluto) durante 15 minutos respectivamente en cada uno.

Limpieza.- Los pereiópodos se limpiaron con un sonicador Cole – Parmer modelo 8890E-MT de 117 volts, 60 Hz y 80 watts por un periodo de 30 segundos en pequeños pulsos, para retirar el exceso de partículas y debris adheridos a setas y artejos durante la colecta y fijación en el campo.

Recubrimiento.- Cada artejo se montó en un “dado” de aluminio debidamente rotulado y preparado con adhesivo, que se introdujo a la ionizadora de oro JEOL – Fine Coat Ion Sputler JFC – 1100 a 1.3 kv y 10 mA para crear por 16 minutos un vacío con gas Argón, y con ello recubrir con una capa de 6 $\mu$ m de oro cada artejo a través de bombardeo de iones. Una vez concluido el proceso de recubrimiento en oro se introdujo un dado por vez a la cámara de vacío del MEB, marca JEOL JSM – 5410 LV aplicándose alto vacío para documentar los detalles de las microestructuras (setas, espinas, etc.) en 3D a aumentos de 500x, 750x y 2000x en cada caso y confirmar la clasificación realizada al microscopio de luz.

6.4 SISTEMA DE DENOMINACIÓN SEGUIDO PARA IDENTIFICAR Y NOMBRAR LAS ESTRUCTURAS DE P1 Y P2. Las estructuras encontradas en P1 y P2 se nombraron con base al sistema de clasificación de Watling (1989) siguiendo la terminología descrita a continuación:

- Seta: extensión circular articulada que varía en tamaño de 10 a 20 $\mu$ m a un menos de 1mm, no siempre presenta un poro apical ni un *ánulus*.
- Espina: extensión cuticular no articulada cuya base no es tan amplia como su longitud.
- Escama: extensión circular no articulada cuya base es muy amplia comparada con su longitud, su margen externo puede estar constituido de estructuras microscópicas secundarias.

La mayoría de las setas se forman de invaginaciones de la epidermis, la parte más interna de cada invaginación está delimitada por el pliegue setal que forma una muesca circular en la laminilla (Fig. 4). A la vez, para nombrar las setas en P1 y P2 a partir de su talla se utilizó la clasificación de Fish (1972) en (Watling, 1989) que se cita a continuación:

1.- Setas macróticas; van de 0.025 a 0.4mm de longitud. Éstas se subdividieron en cuatro tipos con base en su morfología:

a) *simple*: incluyen a las setas simples con ápices despuntados.

b) *setulosa*: a manera de cepillo, plumada, erizada o bien a manera de púa, de gancho o de cepillo con espinas.

c) *denticulada*: que presenta una especie de peine, espinas o pequeñas cerdas.

d) *no denticulada*: sin sétula; en éste grupo se incluye la presencia de púas simples, a modo de tenedor, en forma de pequeños dientes y púas despuntadas.

2.- Setas micróticas; van de 2 a 10  $\mu\text{m}$  de longitud. Éstas se subdivieron en dos tipos con base en su morfología.

a) con pequeños cabellos quitinosos que surgen de las hileras crecécnticas.

b) con cabellos quitinosos que surgen de la cutícula.

Dicha clasificación, puede generalizarse en tres tipos establecidos de setas con base en sus morfologías principales (Farmer, 1974 en Watling 1989):

- Simples
- Plumosas
- Aserradas

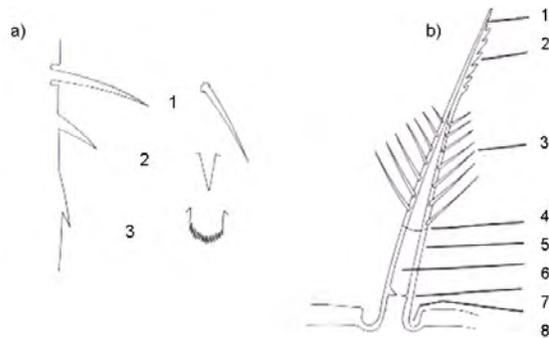


Figura 3a) Estructuras por su tipo de inserción a la cutícula: 1. seta, 2. espina, 3. escama; b) diagrama de una seta ilustrando su morfología básica: 1. poro terminal, 2. denticulo, 3. sétula, 4. ánulus, 5. columnilla, 6. lumen, 7. septum, 8. articulación (Tomado de Watling, 1989).

6.5 ESTRATEGIA PARA REPORTAR LOS RESULTADOS. Todas las observaciones al microscopio se registraron con fotografías tanto de los contenidos estomacales como para clasificar y describir la diversidad y frecuencia de ocurrencia de las microestructuras en las setas. Estas fotografías, tanto al microscopio óptico como al MEB permitieron elaborar tablas comparativas que permitieron clasificar los tipos de

componentes y de microestructuras de las setas, describir la riqueza de éstas y su frecuencia de ocurrencia (Tabla 6).

6.6 DESCRIPCIÓN DE LAS DIETAS. Con objeto de poder determinar la dieta de *T. mitchelli* se utilizó un total de doce organismos para el estudio de isotopía estable ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ). De estos doce organismos, tres se colectaron en la zona de penumbra y nueve en el sistema anquihalino en diferentes localidades (Tabla 3 y 4) con el fin de comparar los patrones de valores isotópicos entre el interior del sistema anquihalino y la zona de penumbra expuesta parcialmente a la luz y que con ello se pudiera reconocer la señal fotoautotrófica en la trama trófica. Estos ejemplares permitieron revisar morfología de las setas. A ninguno de los doce camarones se les extrajo el estómago, dado que para organismos pequeños, la conservación del aparato digestivo para el estudio isotópico no representa diferencias significativas en los resultados (Feuchtmayr y Grey 2003). El análisis de isotopía estable permite determinar por medio de la señal isotópica el origen de la fuente de alimento a partir de  $\delta^{13}\text{C}$  y describir la posición trófica del organismo en el ecosistema que habita a partir de  $\delta^{15}\text{N}$  (Fry et al., 1982). Los valores de isotopía estable se relacionaron con las observaciones de los contenidos estomacales de cada organismo y se vincularon a las morfologías de las setas de P1 y P2.

6.6.1 PROCESADO DE LAS MUESTRAS ISOTÓPICAS ESTABLES. Los organismos recolectados en la zona de penumbra (Tabla 4) se conservaron en etanol al 70% en frascos de vidrio debidamente rotulados, éste no tiene un efecto significativo en la señal isotópica. En el laboratorio cada organismo se colocó individualmente en una caja de Petri pequeña en donde se les agregó ácido clorhídrico (HCl) al 0.2N por 15 minutos y se retiró el HCl cuidadosamente con una pipeta Pasteur, dicho HCl se desechó repitiéndose el procedimiento varias veces tras el cual se agregó agua destilada repitiendo el procedimiento de lavado en repetidas ocasiones y comprobando que el pH fuera neutro por medio de papel indicador de pH marca Whatman tipo CF con un intervalo de 0 - 14. Cada caja Petri con un camarón se cubrió con papel aluminio para evitar su posible contaminación por la depositación de partículas de polvo o de otro tipo y se le hizo pequeños orificios para permitir la salida de vapor al secarse en una estufa marca Boekel Scientific modelo 107801 a una temperatura de 60°C durante 48 horas. Al término se retiraron y homogeneizaron moliéndose en un mortero de ágata y colocando el homogeneizado en viales perfumeros limpios de 5 mL que se etiquetaron

debidamente y se analizaron primero para determinar el contenido elemental de C y N y posteriormente los contenidos de isótopos estables  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en un espectrómetro de masas. El análisis se realizó en un sistema que consiste de un analizador elemental Flash III2 Series EA acoplado a un espectrómetro de masas de isótopos estables Termo Finnigan Delta <sup>Plus</sup> XI. En el laboratorio de Isotopía Estable del Instituto de Geología, UNAM.

6.6.2 ORGANISMOS COLECTADOS EN EL SISTEMA ANQUIHALINO. Para su análisis los organismos se retiraron del congelador se les disectó P1 y P2 los cuales se transparentaron y tiñeron como se explica en el punto 6.3.1. Para el análisis isotópico se siguió el mismo procedimiento descrito en el apartado 6.6.1. y aquellos que no estaban secos aún se procedió a liofilizarlos. Este procedimiento consiste, en la eliminación del agua mediante desecación al vacío a temperaturas de  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; se congela la muestra y se introduce en una cámara de alto vacío para que se evapore el agua por sublimación. Mediante diversos ciclos de congelación- evaporación se consigue eliminar prácticamente la totalidad del agua libre contenida en los tejidos, al no emplear calor, se evita en gran medida las pérdidas nutricionales y organolépticas (Feuchtmayr y Grey, 2003) dicho procedimiento se realizó en una liofilizadora marca Labconco modelo LyPH Lock 4.5 con presión de 100 a  $10\mu\text{m}$  de Hg, las muestras se dejaron dentro de la liofilizadora por 3 horas después de las cuales se homogeneizaron moliéndose en un mortero de ágata y colocando el homogeneizado en viales perfumeros limpios de 5 mL que se etiquetaron debidamente. Para el análisis isotópico, se siguió el mismo procedimiento que en el apartado 6.6.1

6.7 ANÁLISIS ISOTÓPICO ESTABLE EN EL ESPECTROMETRO DE MASAS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS. Para dicho análisis, se colocaron 1.5 mg de muestra en cápsulas de estaño de 5 x 9 mm que se comprimen para extraer el aire intersticial (Tabla 3). El análisis se realizó en un sistema que consiste de un analizador elemental Flash III2 Series EA acoplado a un espectrómetro de masas de isótopos estables Termo Finnigan Delta <sup>Plus</sup> XI. El patrón de referencia utilizado como referencia para el carbono fue NBS-19, referido a la calcita fósil de la formación Pee Dee Belemnita ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ) y Carbonato de Litio ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{L-SVEC}}$ ) (Coplen *et al.*, 2006) los datos se expresaron en notación habitual según la ecuación 1 como:

$$\text{Ecuación 1} \quad \delta X = [(R_{\text{muestra}}/R_{\text{patrón}}) - 1] \times 10^3 (\text{‰})$$

Donde: X = isótopos estables de los elementos d<sup>13</sup>C ó d<sup>15</sup>N

R = proporciones de <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C ó <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N (Werner y Brand, 2001, Escobar *et al.*, 2002).

Tabla 2 Porción de muestra de organismos colectados en el cenote y en el sistema anquihalino introducida al espectrómetro de masas.

ID organismo	Cantidad de muestra (mg ps)
<i>Cenote</i>	
TyCC1	1.925
TyCC2	2.231
<i>Sistema anquihalino</i>	
Ty1	2.201
Ty2	1.725
Ty3	1.897
Ty4	1.830
Ty5	2.214
TyA	2.189
TyB	2.372
TyC	2.295
TyD	2.260

6.8 ESTABLECIMIENTO DEL PAPEL DE LA HALOCLINA COMO SUPERFICIE PARA LA ACUMULACIÓN DE PARTÍCULAS. La variación en la densidad, determinada a partir de los valores de temperatura (°C) y salinidad (g.L<sup>-1</sup>) en las 17 estaciones muestreadas (Tabla 2) del Sistema Crustaceo permitió describir la estructura de las masas de agua. Estas variables se midieron *in situ* adicionalmente a la concentración de oxígeno disuelto (mg L<sup>-1</sup>), pH y profundidad (m) con una sonda multiparamétrica Hydrolab YSI600 programada para realizar un registro continuo, colocada para ser transportada en el equipo del buzo durante el ingreso a la cueva (Yager y Madden, 2002). Los datos registrados se vaciaron posteriormente en una base de datos del programa Statistica 6.0, se graficaron contra la profundidad y posteriormente se determinó la significancia de la desviación en cambios a lo largo de la columna de agua con un Análisis de

Varianza de una vía (ANOVA). El cálculo de la densidad de las diferentes masas de agua se realizó de acuerdo a la ecuación 2:

$$\text{Ecuación 2} \quad g = - 1/\rho \, dp/dz$$

Donde:  $g$  es la gravedad específica que es  $\approx 9.8 \text{ m/s}^2$ ,  
 $\rho$  es la densidad expresada en  $\text{g/cm}^3$  y  
 $dp/dz$  es la variación de densidad con respecto a la profundidad

Las características de los tipos de agua se determinaron al graficar la temperatura contra la salinidad a través de diagramas T-S. Lo anterior permitió establecer por una parte diferencias entre haloclina y agua marina y salobre/dulce en la cueva. Los valores sirvieron así mismo para establecer si la haloclina puede considerarse una frontera o barrera física para el movimiento de *T. mitchelli* al cruzarla implicara un gasto energético incosteable o si permite solamente retener partículas y materiales que pueden proveer alimento.

Para alcanzar estos aspectos se compararon las densidades del agua y del camarón. Esta última se obtuvo con la densidad específica ( $\rho$ ) de seis camarones de la especie *T. mitchelli* sin disectar y preservados en etanol al 70% (Tabla 4). La  $\rho$  se determinó con la masa de los organismos que fueron pesados en una balanza analítica Startorius. Se preparó una columna para establecer la densidad del camarón a 25°C usando una probeta de 20 mL que se llenó con agua dulce hasta los 13 mL y en ella se determinó el volumen desplazado de cada organismo. Los valores registrados se substituyeron en la fórmula descrita por la ecuación 3:

$$\rho = m/v$$

Ecuación 3

Donde:  $m$  es la masa y  $v$  es el volumen desplazado

## 6.9 DESCRIPCIÓN DEL HABITAT.

Los datos de densidad de la columna de agua se analizaron junto con los datos de las otras variables de columna de agua usando la profundidad como tratamiento en una prueba de ANOVA de una vía con el programa Statistica 6.0.

## 7. RESULTADOS

7.1 IDENTIFICACIÓN. Los ejemplares de este estudio representan dos especies de *Typhlatya*: *T. campecheae* y *T. mitchelli*. La primera se identificó en el área de penumbra y la segunda en dentro de la cueva (Tabla 4).

7.1.1 ZONA DE PENUMBRA, MONTE BRAVO. De los primerostodos presentan (Fig. 5) ojos carentes de pigmento, rostro extendido más allá del margen distal de los ojos y alcanzando el primer segmento antenular y el isquio y el mero de todos los pereiópodos sin fusionar.

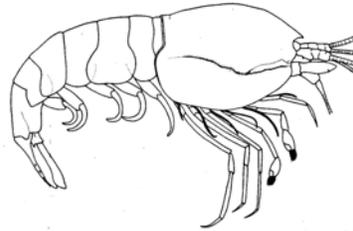


Figura 1 Diagrama de *T. campecheae*. (Tomado de Hobbs y Hobbs, 1976).

7.1.2 SISTEMA ANQUIHALINO. Todos los ejemplares con excepción de los tres recolectados en Monte Bravo, pertenecen a la especie *T. mitchelli* (Tabla 4). Todos presentan los caracteres de identificación para la especie (Fig. 6) que incluyen los ojos carentes de pigmento, rostro extendido antes o hasta el margen distal de los ojos, sexta somita abdominal menor que cuatro veces el largo de la quinta, distancia carpo/propodo del segundo pereiópodo mayor a 2.5.

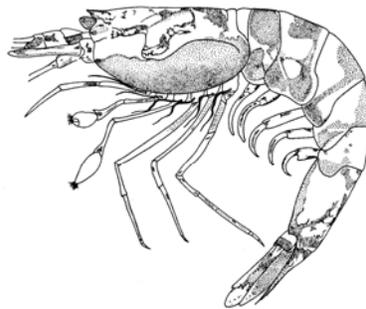


Figura 2 *T. mitchelli*. Tomado de Hobbs y Hobbs (1976).

Tabla 1 Características taxonómicas de organismos muestreados, identificados a nivel de especie y sus inconsistencias (P4D pereiópodo # cuatro derecho P4I izquierdo; s = espina; - = ausencia de apéndice; \* = no fue posible determinar el sexo).

Clave ICMyl	Especie	sexo	Longitud total (mm)	Peso (mg)	Colecta	Observaciones
<i>Cenote</i> TyCC <sub>1</sub>	<i>T. campecheae</i>	F	17	0.038	Mte. Bravo, Champotón, Campeche, Dr. Fernando Álvarez, 28/5/04	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: 0 P <sub>1</sub> y P <sub>2</sub> utilizados para MEB

TyCC <sub>2</sub>	<i>T. campecheae</i>	*	15	0.031	Mte. Bravo, Champotón, Campeche, Dr. Fernando Álvarez, 28/5/04	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: - P1 y P2 utilizados para MEB Utilizado para isotopía y MEB
TyCC <sub>3</sub>	<i>T. campecheae</i>	*	13	0.025	Mte. Bravo, Champotón, Campeche, Dr. Fernando Álvarez, 28/5/04	P <sub>4</sub> D: 5s P <sub>4</sub> I: - P1 y P2 utilizados para MEB Utilizado para isotopía y MEB
EM22692	<i>T. mitchelli</i>	*	17	0.039	Kumich, Q. Roo, Dr. Fernando Álvarez 10/12/03	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: - Utilizados para densidad
EM (1)	<i>T. mitchelli</i>	*	16	0.036	Cenote Xnaput, Tircanal Yucatán, Dr. Fernando Álvarez 6/5/04	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: - Utilizados para densidad
EM (2)	<i>T. mitchelli</i>	*	15	0.038	Cenote Xnaput, Tircanal Yucatán, Dr. Fernando Álvarez 6/5/04	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: 4s Utilizados para densidad
EM22698 (1)	<i>T. mitchelli</i>	*	11	0.011	Actun Ha, Q. Roo, Dr. Fernando Álvarez, 5/5/04	P <sub>4</sub> D: 5s P <sub>4</sub> I: - Utilizados para densidad
EM22698 (2)	<i>T. mitchelli</i>	*	12	0.011	Actun Ha, Q. Roo, Dr. Fernando Álvarez, 5/5/04	P <sub>4</sub> D: 5s P <sub>4</sub> I: 4s Utilizados para densidad
EM22698 (3)	<i>T. mitchelli</i>	*		0.031	Actun Ha, Q. Roo, Dr. Fernando Álvarez, 5/5/04	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: - Utilizados para densidad
<i>Sistema anquihalino</i>						
Ty1	<i>T. mitchelli</i>	F		0.036	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; M. Madden & Dra. Jill Yager 9/4/02 bajo haloclina interfase 35‰	P <sub>4</sub> D: 5s P <sub>4</sub> I: - Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty2	<i>T. mitchelli</i>	F	14	0.038	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; M. Madden & Dra. Jill Yager 9/4/02 bajo haloclina interfase 35‰	P <sub>4</sub> D: 4s P <sub>4</sub> I: 7s Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty3	<i>T. mitchelli</i>	F	10	0.011	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; M. Madden & Dra. Jill Yager 9/4/02 bajo haloclina interfase 35‰	P <sub>4</sub> D: 8s P <sub>4</sub> I: - Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty4	<i>T. mitchelli</i>	F	16	0.031	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; M. Madden & Dra. Jill Yager 9/4/02 bajo haloclina interfase 35‰	P <sub>4</sub> D: 6s P <sub>4</sub> I: 7s Utilizado para analizar contenido estomacal

Ty5	<i>T. mitchelli</i>	F	18	0.040	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; M. Madden & Dra. Jill Yager 9/4/02 bajo haloclina interfase 35‰	P <sub>4</sub> D: 6s P <sub>4</sub> I: 7s Preñada con ≈ 22 huevos, rostro bifurcado  Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty6	<i>T. mitchelli</i>	F	9	0.011	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; M. Madden & Dra. Jill Yager 9/4/02 bajo haloclina interfase 35‰	P <sub>4</sub> D: 8s P <sub>4</sub> I: ≈ 48 Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty7	<i>T. mitchelli</i>	F	15	0.031	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; M. Madden & Dra. Jill Yager 9/4/02 bajo haloclina interfase 35‰	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: - Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty8	<i>T. mitchelli</i>	*	17	0.039	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; 4/12/01; M. Madden	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: - Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty9	<i>T. mitchelli</i>	*	7	0.011	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; 4/12/01; M. Madden	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: - Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty10	<i>T. mitchelli</i>	*	10	0.011	Chac Mool (Tulum-Playa del Carmen), Q. Roo, Dra. Jill Yager, 21/04/02	P <sub>4</sub> D: 5s P <sub>4</sub> I: 5s Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty11	<i>T. mitchelli</i>	*	14	0.032	Vaca-Ha, Tulum-Coba Rd, Q. Roo, Dra. Jill Yager & Benja Sacristán, 30/4/02	P <sub>4</sub> D: 6s P <sub>4</sub> I: - Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty12	<i>T. mitchelli</i>	*	15	0.035	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; 26/11/01; M. Madden. Sta. 8 interfase	P <sub>4</sub> D: 6s P <sub>4</sub> I: 8s Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty13	<i>T. mitchelli</i>	*	17	0.037	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; 26/11/01; M. Madden. Sta 8 interfase	P <sub>4</sub> D: 7s P <sub>4</sub> I: 6s Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty14	<i>T. mitchelli</i>	*	16	0.032	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; 26/11/01; M. Madden. Sta 8 interfase	P <sub>4</sub> D: 6s P <sub>4</sub> I: 7s Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty15	<i>T. mitchelli</i>	*	16	0.031	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; 14/11/01; M. Madden. Sta 9	P <sub>4</sub> D: 7s P <sub>4</sub> I: - Utilizado para analizar contenido

					interfase	estomacal
Ty16	<i>T. mitchelli</i>	*	17	0.036	S. Crustaceo (Pto Morelos), Q. Roo; 14/11/01; M. Madden. Sta 9 interfase	P <sub>4</sub> D: 6s P <sub>4</sub> I: 6s Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty17	<i>T. mitchelli</i>	*	15	0.031	S. Crustaceo (Pto Morelos), Q. Roo; 14/11/01; M. Madden. Sta 9 interfase	P <sub>4</sub> D: 8s P <sub>4</sub> I: 8s Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty18	<i>T. mitchelli</i>	*	15	0.031	S. Crustaceo (Pto Morelos), Q. Roo; 14/11/01; M. Madden. Sta 9 interfase	P <sub>4</sub> D: 6s P <sub>4</sub> I: 6s Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty19	<i>T. mitchelli</i>	*	10	0.026	S. Crustaceo (Pto Morelos), Q. Roo; 26/11/01; M. Madden. Sta 8 interfase	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: 6s Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty20	<i>T. mitchelli</i>	*	12	0.027	S. Crustaceo (Pto Morelos), Q. Roo; 26/11/01, sobre haloclina	P <sub>4</sub> D: 6s P <sub>4</sub> I: 6s Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty21	<i>T. mitchelli</i>	*	12	0.028	S. Crustaceo (Pto Morelos), Q. Roo; 26/11/01, sobre haloclina	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: 6s Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty22	<i>T. mitchelli</i>	*	18	0.031	S. Crustaceo (Pto Morelos), Q. Roo; 26/11/01, sobre haloclina	P <sub>4</sub> D: 8s P <sub>4</sub> I: 9s Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty23	<i>T. mitchelli</i>	*	9	0.011	S. Crustaceo (Pto Morelos), Q. Roo; 26/11/01, sobre haloclina	P <sub>4</sub> D: 7s P <sub>4</sub> I: 7s Utilizado para analizar contenido estomacal
Ty24	<i>T. mitchelli</i>	*	10	0.011	S. Crustaceo (Pto Morelos), Q. Roo; 26/11/01, sobre haloclina	P <sub>4</sub> D: 6s P <sub>4</sub> I: 6s Utilizado para analizar contenido estomacal
<i>Muestras Congeladas</i>						
TyA	<i>T. mitchelli</i>	*	17	0.054	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; Dra. Jill Yager	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: - Utilizado para isotopía
TyB	<i>T. mitchelli</i>	*	15	0.036	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; Dra. Jill Yager 9/4/02	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: - Utilizado para isotopía
TyC	<i>T. mitchelli</i>	*	15	0.038	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; Dra. Jill Yager	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: - Utilizado para isotopía
TyD	<i>T. mitchelli</i>	*	10	0.017	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo;	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: -

					Dra. Jill Yager	Utilizado para isotopía
Ty1	<i>T. mitchelli</i>	*	16	0.051	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; Dra. Jill Yager. Sobre haloclina	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: - Utilizado para isotopía
Ty2	<i>T. mitchelli</i>	*	12	0.025	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; Dra. Jill Yager	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: - Utilizado para isotopía
Ty3	<i>T. mitchelli</i>	*	15	0.031	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; Dra. Jill Yager. Sobre haloclina 9/4/02	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: - Utilizado para isotopía
Ty4	<i>T. mitchelli</i>	*	17	0.053	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; Dra. Jill Yager. Sobre haloclina	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: - Utilizado para isotopía
Ty5	<i>T. mitchelli</i>	*	17	0.064	S. Crustaceo (Pto. Morelos), Q. Roo; Dra. Jill Yager. Sobre haloclina	P <sub>4</sub> D: - P <sub>4</sub> I: - Utilizado para isotopía

## 7.2 CLASIFICACIÓN DE SETAS EN P1 Y P2.

Los tres ejemplares colectados en la zona de penumbra junto con los organismos del sistema anquihalino (Tabla 4) presentan microestructuras y estación similar en P1 y P2.

7.2.1 CENOTE. Aún cuando los tres ejemplares recolectados en el cenote pertenecen a una especie diferente que los organismos del sistema anquihalino (Tabla 4), todos presentan las mismas estructuras en P1 y P2 (Tabla 5). Las estructuras que reconoció el análisis de clasificación, con apoyo de fotografías de microscopía óptica y al MEB fueron de tres tipos diferentes (Tabla 5):

- 1.- setas no denticuladas a manera de ganchos no descritas en la literatura previamente
- 2.- setas denticuladas
- 3.- setas simples

Todas las setas se encontraban insertas en la cutícula del exoesqueleto de los ejemplares (Fig. 7). Las setas denticuladas y las simples presentaron la mayor abundancia relativa de alrededor de un 50% de cada tipo, siendo las setas no denticuladas las menos abundantes. Las setas no denticuladas siempre tuvieron una incidencia en grupos de 3 a 4 (Apéndice 1) y presentan una plataforma con extremos puntiagudos a manera de espinas (Fig. 8B).

Los tres tipos de setas se presentaron con la misma frecuencia y ubicación en todos los ejemplares (parte apical de los dedos fijo y móvil de P1 y P2; Fig. 8).

7.2.2 SISTEMA ANQUIHALINO. Enejemplares del sistema anquihalino se registró el mismo tipo de setas que en los organismos de la zona de penumbra y con la misma frecuencia y ubicación

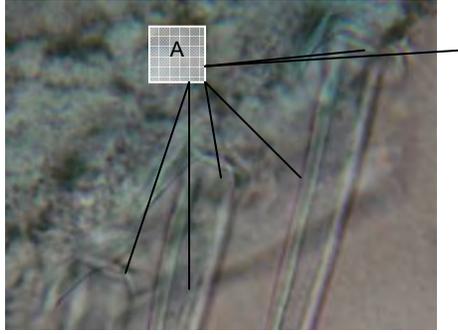
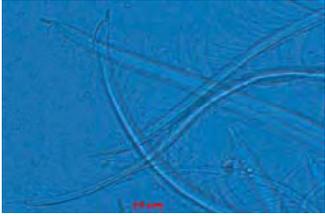
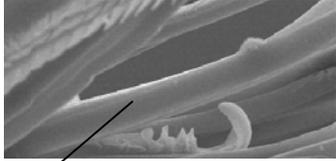
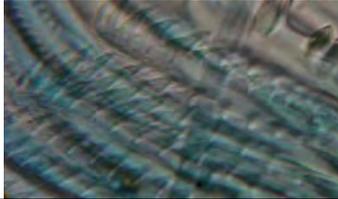
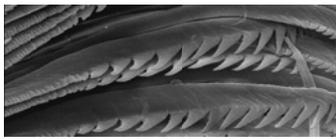
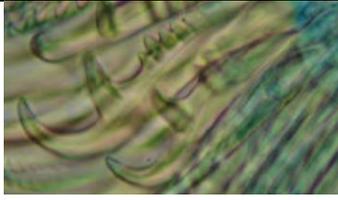
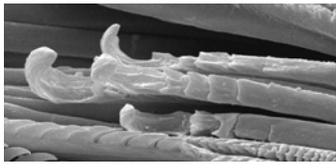


Figura 3 Vista de de la eversión incompleta de las setas simples de la parte ventral lateral del dedo fijo de Ty 20.

Tabla 2 Nombre, características y morfología de setas presentes en P1 y P2 de organismos de la zona de penumbra y del sistema anquihalino (cueva). Imágenes de microscopía óptica tomadas con aumento de 100x y de MEB aumentos a) 2000x, c) 1500x y d) 500x

Nombre	Características	Morfología	
		Microscopía óptica	MEB
Simples	simples; que incluyen a las setas sencillas con ápices despuntadas, éste tipo de setas están también presentes en la parte ventral de ambos dedos, el fijo y el móvil		 seta simple
Denticuladas	denticuladas; seta denticulada que puede presentar una especie de peine, espinas o pequeñas cerdas		
No denticuladas	no denticuladas; setas no denticuladas y sin sétula, en éste grupo se incluye la presencia de púas simples, a modo de tenedor, en forma de pequeños dientes y púas despuntadas		

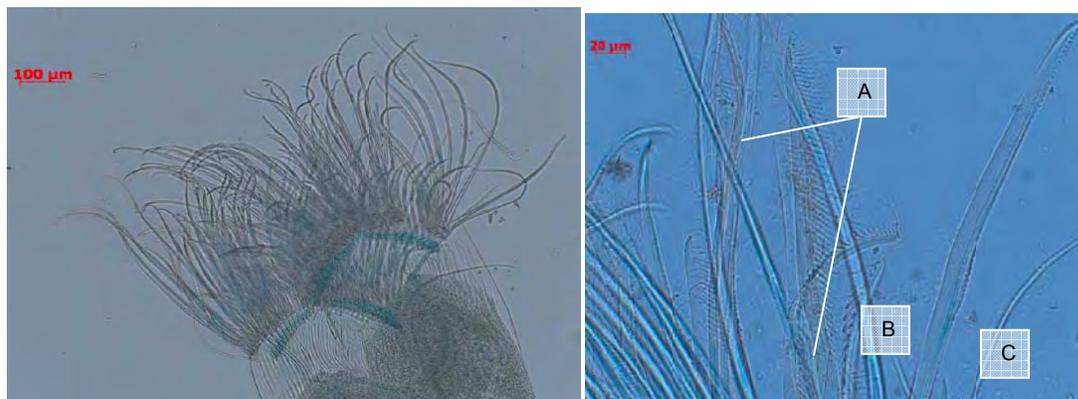


Figura 4A la izquierda, vista de la porción apical de quela con el conjunto de setas. A la derecha, vista del dedo móvil de la quela del ejemplar Ty 3 de *T. mitchelli* que presenta la ubicación espacial de A) setas simples. B) setas denticuladas. C) setas no denticuladas.

7.3 DIETA DE *Typhlatya mitchelli*. Los análisis de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  (Fig. 9) reconocieron firmas isotópicas disimilares entre la zona de penumbra ( $> -2$  ‰  $\delta^{13}\text{C}$  y  $> 7$  ‰  $\delta^{15}\text{N}$ ) y los sistemas anquihalinos ( $< -31$  ‰  $\delta^{13}\text{C}$  y  $-0.54$  a  $-9.34$  ‰  $\delta^{15}\text{N}$ ) que implicó el uso de diferentes almacenes de carbono, fotoautotrófico en la zona de penumbra y detrito y quimioautotrófico en el sistema anquihalino.

a) Isotopía Estable.

7.3.1 ZONA DE PENUMBRA.

La composición isotópica estable de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en ejemplares de *Typhlatya campechae* colectados en la zona de penumbra muestran valores en un intervalo de  $-21.69$  a  $-21.05$  ‰ para  $\delta^{13}\text{C}$  y de  $7.31$  a  $7.61$  ‰ para  $\delta^{15}\text{N}$  (Tabla 6; Fig. 9).

7.3.2 SISTEMA ANQUIHALINO (CUEVA).

La isotopía estable de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de *Typhlatya mitchelli* colectados en la zona de la cueva del sistema anquihalino tienen un intervalo de  $-44.69$  a  $-31.80$  ‰ para  $\delta^{13}\text{C}$  y de  $-0.54$  a  $-9.34$  ‰ para  $\delta^{15}\text{N}$  (Tabla 6; Fig. 9). Los datos se agrupan en tres, un grupo correspondiente a los individuos que se alimentan en la masa de agua dulce, otro por organismos alimentándose en la masa de agua salada y otro grupo alimentándose en la haloclina (Fig. 9).

Tabla 3 Composición isotópica estable de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  para organismos colectados en el cenote Mte. Bravo (\*) (preservado en etanol) y en el sistema anquihalino Crustaceo (congelados).

Clave ICMYL	$\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ (‰)	Colecta
*TyCC <sub>2</sub>	7.61	-21.69	Zona de penumbra
*TyCC <sub>3</sub>	7.31	-21.05	Zona de penumbra
Ty1	-0.54	-42.47	Cueva, epiclina
Ty2	9.34	-31.8	Cueva, hipoclina
Ty3	3.53	-41.37	Cueva, epiclina
Ty4	0.27	-44.14	Cueva, hipoclina
Ty5	-0.42	-41.82	Cueva, hipoclina
TyA	7.02	-29.53	Cueva, epiclina
TyB	1.51	-43.11	Cueva, hipoclina
TyC	0.73	-43.07	Cueva, hipoclina
TyD	1.3	-44.69	Cueva, hipoclina

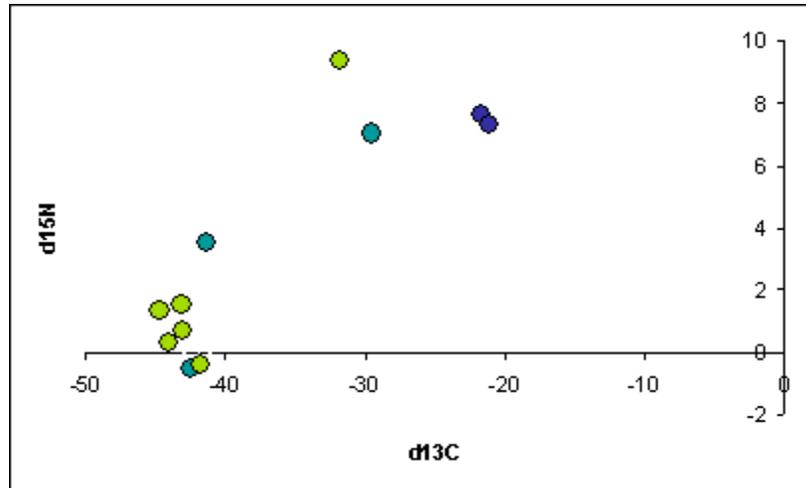


Figura 5 Resultados de isotopía de los ejemplares *Typhlatya*.  
 ● Organismos colectados en sistema anquihalino (cueva) en hipoclina.  
 ● Organismos colectados en sistema anquihalino (cueva) en epiclina.  
 ● Organismos colectados en penumbra.

### 7.3.3 CONTENIDOS ESTOMACALES.

Los organismos colectados en el ambiente de penumbra presentaron predominantemente bacterias, diatomeas y materia orgánica particulada (Figs. 10 a 15). En el interior del sistema anquihalino los organismos contienen predominantemente bacterias y materia orgánica particulada (Apéndice 2). La frecuencia con la cual se reconoció contenido en la bolsa gástrica varía dependiendo de la procedencia de los organismos; por ejemplo, los organismos recolectados en el interior del sistema anquihalino presentaron una mayor frecuencia materia orgánica particulada en el contenido alimenticio en aquellos organismos presentes en la masa de agua marina (ubicada bajo la haloclina), seguida por bacterias y solamente un organismo presentó fragmentos de metazoarios. El contenido gástrico de los organismos recolectados en la haloclina presentó predominantemente bacterias y materia orgánica particulada. Los organismos recolectados en la capa de agua dulce (ubicada sobre la haloclina) la dieta está exclusivamente sostenida por bacterias (Fig. 10).

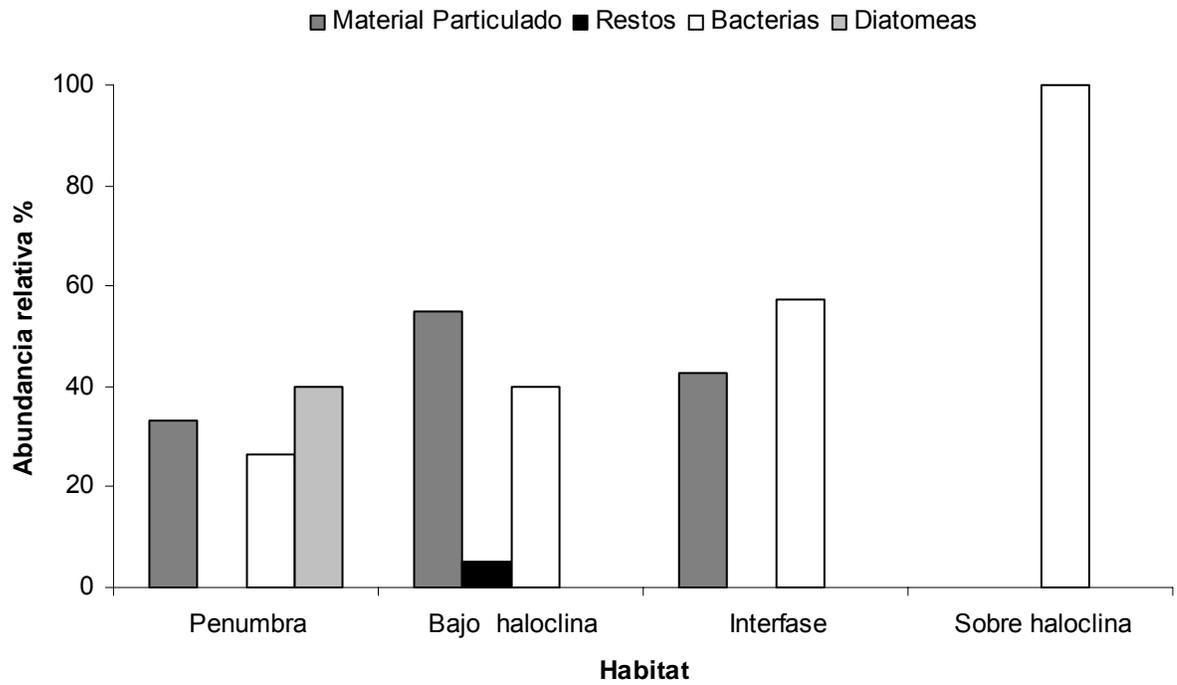


Figura 6 Porcentajes de la presencia de los diferentes componentes de la dieta de los camarones estudiados en el contenido estomacal.



Figura 7 Contenido estomacal Ty 15 vista de material amorfo de alrededor de  $4\ \mu\text{m}$  (100x, cada unidad de la reglilla equivale a  $1\ \mu\text{m}$ )



Figura 8 Bacterias, contenido estomacal Ty 22 bacterias de 0.5 a 2  $\mu\text{m}$  (100x, cada unidad de la reglilla equivale a 1  $\mu\text{m}$ )



Figura 9 bacterias y material amorfo A), contenido estomacal Ty 22 (100x, cada unidad de la reglilla equivale a 1  $\mu\text{m}$ )

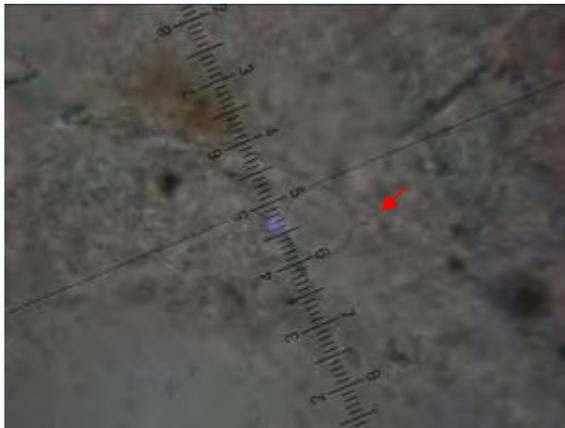


Figura 10 contenido estomacal Ty 22, vista de una diatomea de 1  $\mu\text{m}$  (100x, cada unidad de la reglilla equivale a 1  $\mu\text{m}$ )



Figura 11 material amorfo contenido estomacal Ty 10(100x, cada unidad de la reglilla equivale a 1  $\mu\text{m}$ )

### 7.5 FACTORES AMBIENTALES QUE DESCRIBEN EL HÁBITAT

Salinidad.- La columna de agua del Sistema Crustaceo comprende tres masas de agua (Tabla 7): una capa de agua dulce ubicada sobre la haloclina que es la menos densa, la capa de agua donde se presenta la haloclina que es la zona de frontera entre la masa de agua dulce y la salada (Tabla 7) y una masa de agua salada ubicada por debajo de la haloclina que presenta la mayor densidad (Gráfica 5). A lo largo de la columna de agua se presentan cambios abruptos en los niveles de oxígeno disuelto (Gráfica 1), en los valores de pH (Gráfica 2), salinidad (Gráfica 3) y temperatura (Gráfica 4).

Tabla 4 Intervalos de densidades de las diferentes masas de agua del Sistema Crustaceo.

Masa de agua	Densidad ( $\text{kg m}^{-3}$ )
Dulce	0.996 - 0.997
Haloclina	0.997 - 1.009
Marina	1.09 - 1.024

### 7.4 DENSIDAD EN *Typhlatya mitchelli*

Los valores de densidad calculados para los organismos de *T. mitchelli* variaron entre 1.147 y 1.22  $\text{g m}^{-3}$  (Tabla 8). Los valores de la densidad de *T. mitchelli* fueron mayores a la densidad de las tres masas de agua en las cuales ocurre (ver más adelante).

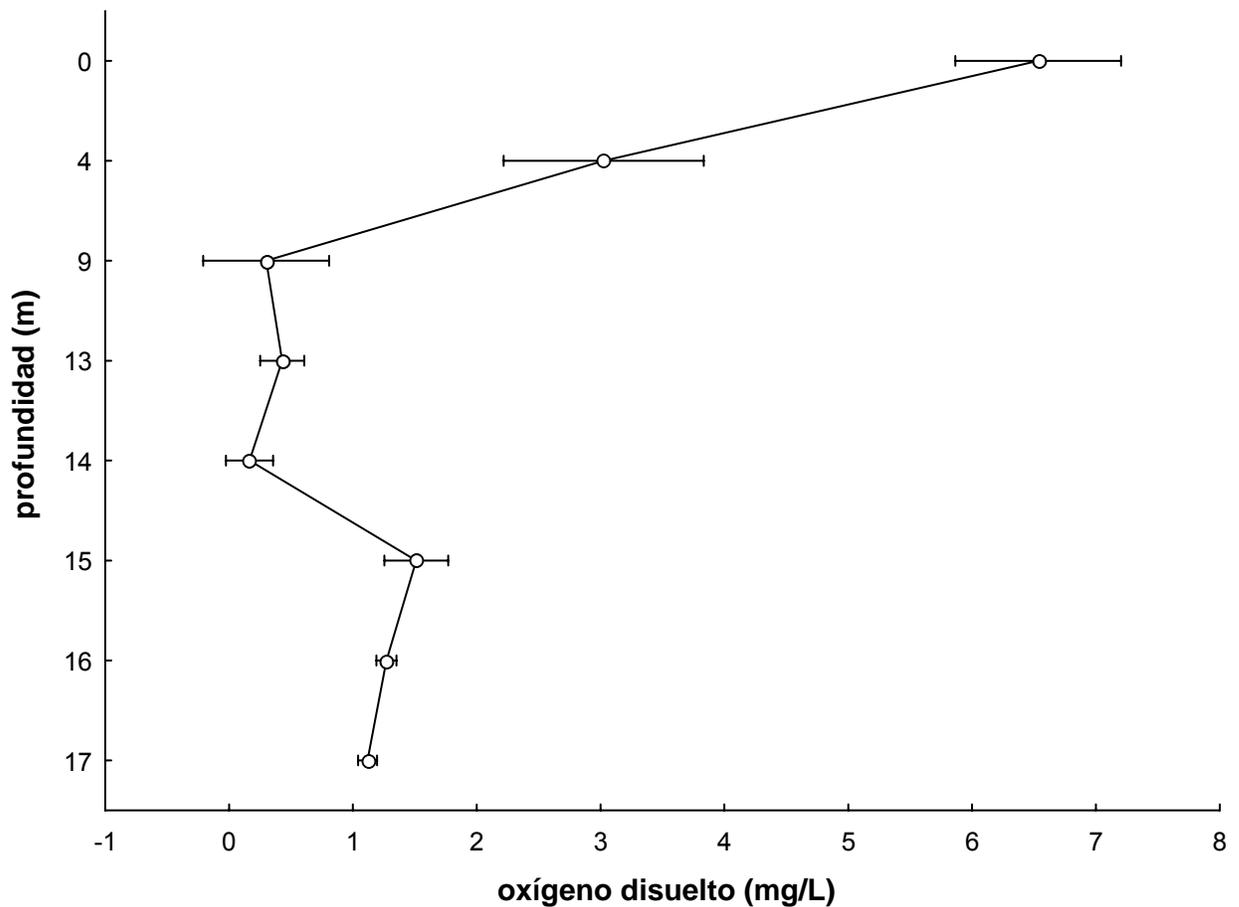
Tabla 5 Valores de densidad de *T. mitchelli*.

Organismo	Peso (g)	Biovolumen (ml)	Densidad ( $\text{g m}^{-3}$ )
EM22692	0.039	0.034	1.147
EM (1)	0.036	0.031	1.161
EM (2)	0.038	0.033	1.151
EM22698 (1)	0.011	0.009	1.222
EM22698 (2)	0.011	0.009	1.222
EM22698 (3)	0.031	0.027	1.148
Promedio			

## 7.5 DESCRIPCIÓN DEL HÁBITAT

### 7.5.1 Oxígeno Disuelto.

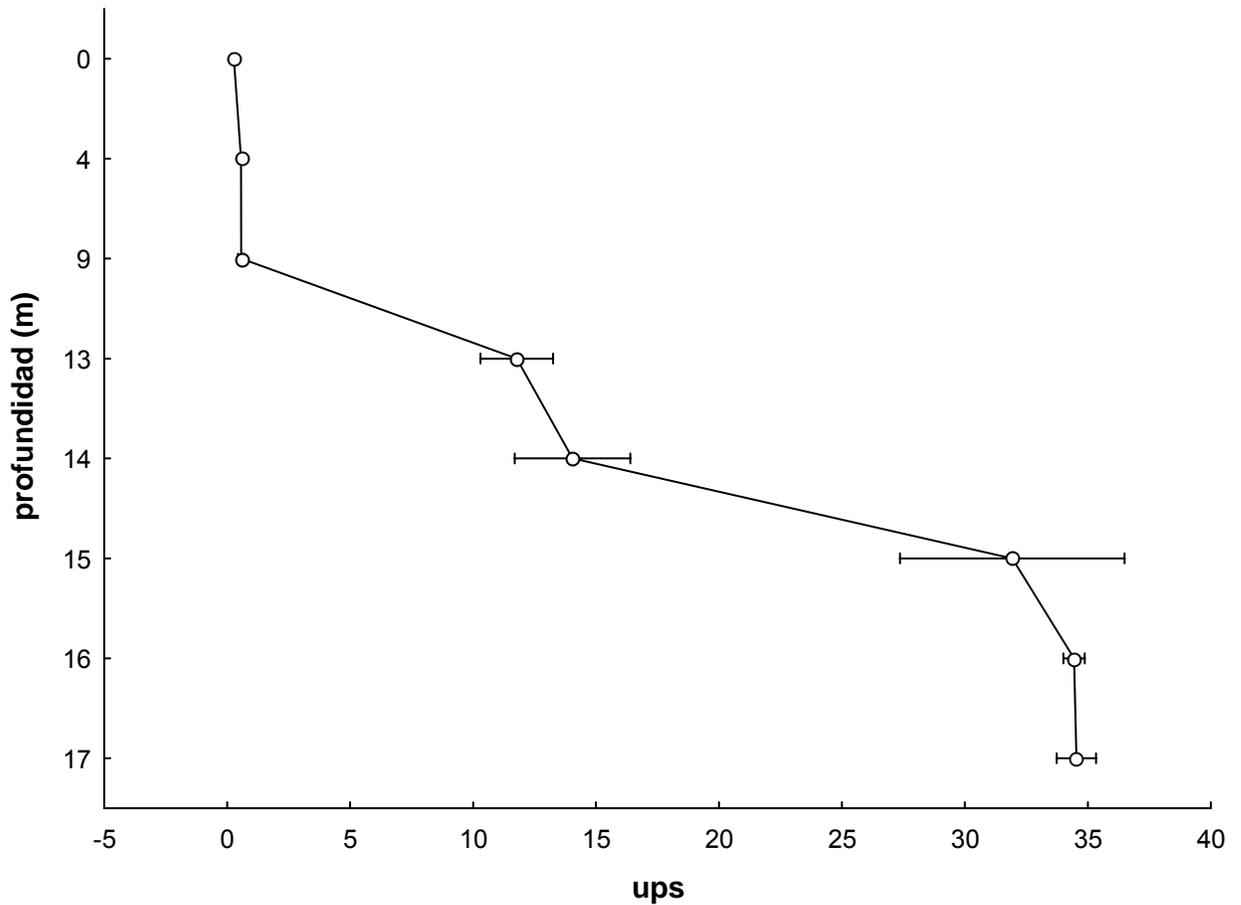
Los niveles de oxígeno disuelto descienden de 6.5 mg/L en la superficie a 0.5 mg/L a los 9 m concentración donde se mantiene hasta los 14 m donde se reconoce una quimioclina. A los 15 m la concentración de oxígeno aumenta a 1.5 mg/L hasta los 17 m. Los cambios en la concentración de oxígeno disuelto a lo largo de la columna de agua son significativos (ANOVA  $F(14, 262) = 258.77$ ;  $p = 0.0000$ ).



Gráfica 1 Variación en la concentración de oxígeno disuelto a lo largo de la columna de agua de sistema Crustaceo n=17,  $F(14, 262)=258.77$ ,  $p=0.0000$ , intervalo de confianza 0.95.

### 7.5.2 Salinidad.

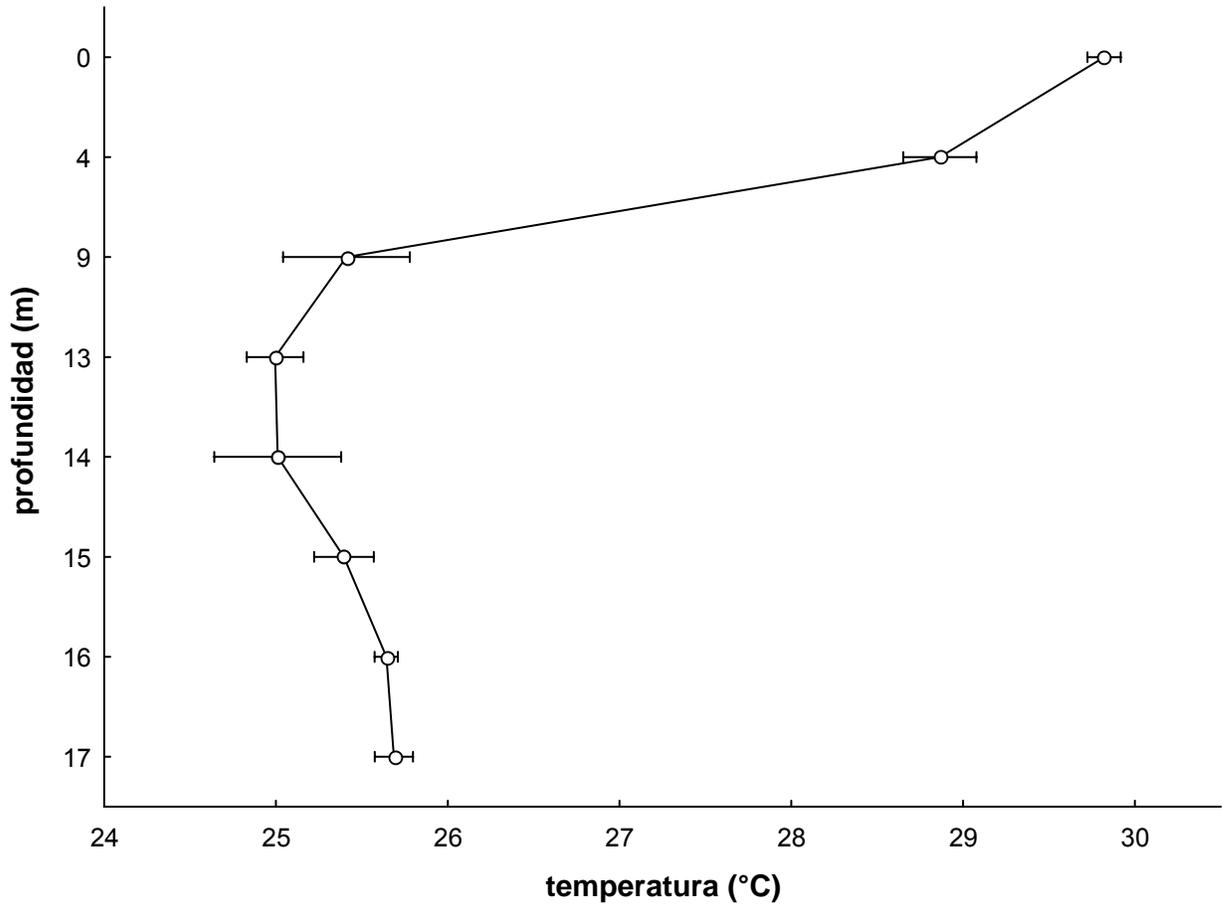
La salinidad del agua de los 0 a los 9 m es muy baja, 0, y a los 13 m aumenta hasta 11.77 donde se reconoce el inicio de la haloclina volviendo a aumentar a 31.9 a los 15 m donde termina la haloclina aumentando hasta los 16 m profundidad donde se sostiene en 34.43 hasta los 17 m. Los cambios en la salinidad de las tres zonas halinas a lo largo de la columna de agua son significativos (ANOVA  $F(7, 132) = 1085.2$ ;  $p = 0.0000$ ).



Gráfica 2 Variación de la salinidad a lo largo de la columna de agua en el sistema Crustaceo  $n=17$ ,  $F(7,132)=1085.2$ ,  $p=0.0000$ , intervalo de confianza de 0.95.

### 7.5.3 Temperatura.

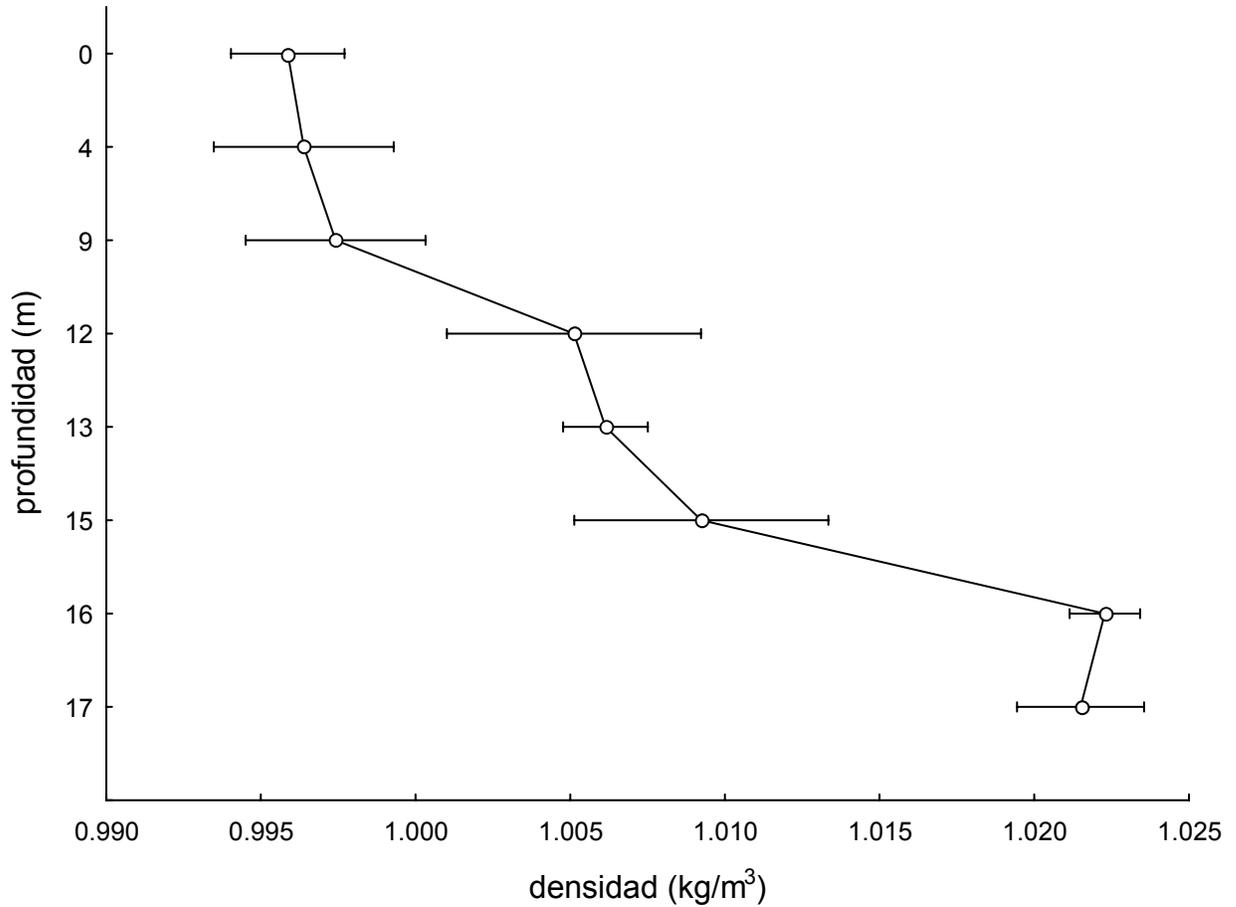
La temperatura del agua en la superficie es de 29 °C y desciende cuatro grados hasta los 9 m de profundidad marcando una termoclina, a partir de esta profundidad la temperatura se mantiene aumentando ligeramente hasta los 17 m con una temperatura de 25.68 °C. Los cambios en la temperatura a lo largo de la columna de agua son muy significativos (ANOVA  $F(7, 132) = 925.70$ ;  $p = 0.0000$ ).



Gráfica 3 Variación de la temperatura a lo largo de la columna de agua en el sistema Crustaceo  $n=17$ ,  $F(7, 132)=925.70$ ,  $p=0.0000$  intervalo de confianza de 0.95.

#### 7.5.4 Densidad.

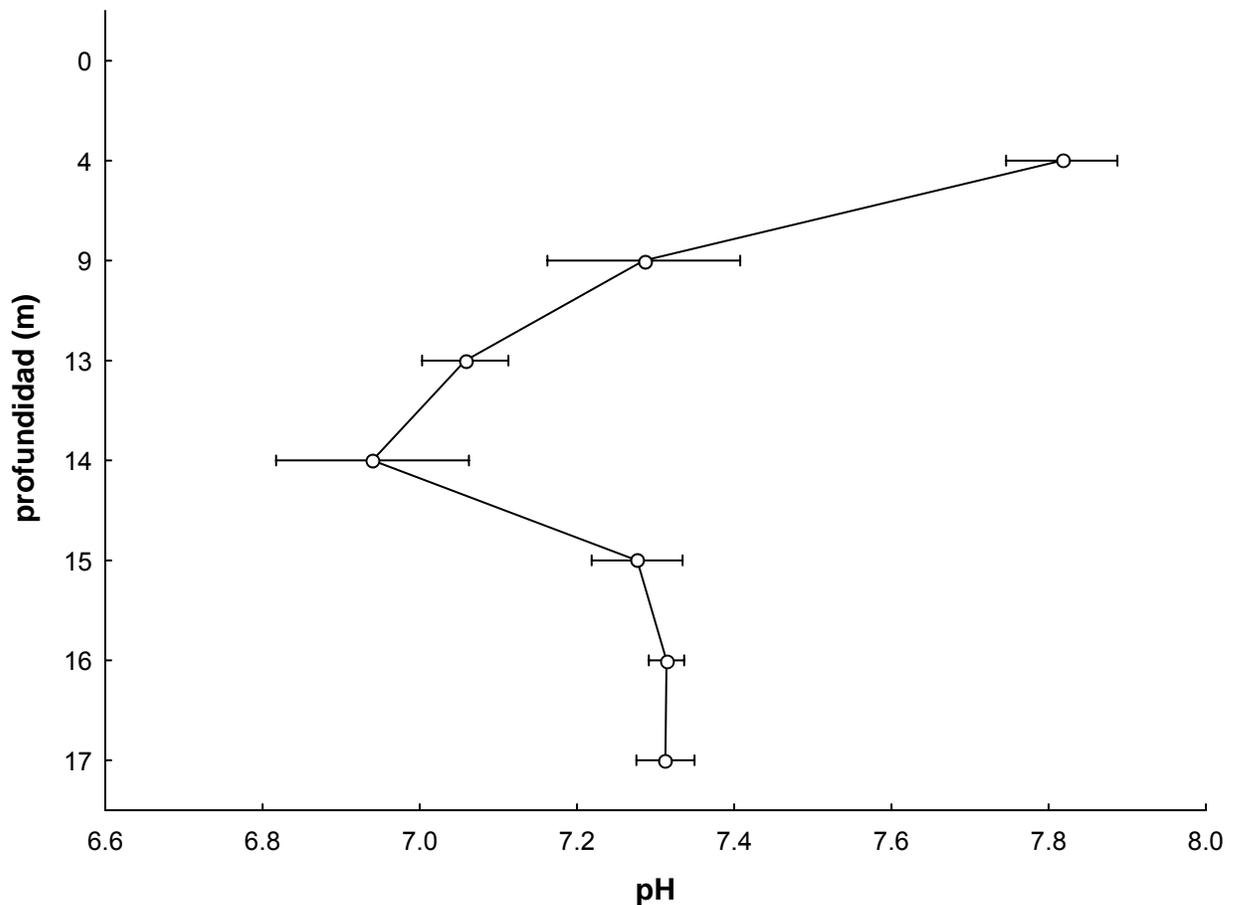
La densidad a lo largo de la columna del agua, se mantiene desde la superficie hasta los 9 m de profundidad incrementando de  $0.997 \text{ kg/m}^3$  a  $1.005 \text{ kg/m}^3$  de los 12 a los 15 m de profundidad a partir de la cual aumenta hasta los 17m en un intervalo de  $1.006 \text{ kg/m}^3$  a  $1.009 \text{ kg/m}^3$  variación que fue significativa (ANOVA  $F(7, 29) = 151.68$ ;  $p = 0.0000$ ).



Gráfica 4 Variación de densidad del agua a lo largo del área muestreada en sistema Crustáceo  $n=17$ ,  $F(7,29)=151.68$ ,  $p=0.0000$  intervalo de confianza de 0.95.

### 7.5. 5 pH.

El pH de la zona superficial de la columna de agua se redujo entre 0 y 14 m de profundidad con valores menores a 7 (Gráfica 5) a partir de esta profundidad incrementó a valores promedio de 7.3 por debajo de la quimioclina. Los cambios en el pH a lo largo de la columna de agua fueron significativos (ANOVA  $F(7, 132) = 248$ ;  $p = 0.0000$ ).



Gráfica 2 Variación del pH a lo largo de la columna de agua en sistema Crustaceo  $n=17$ ,  $F(7,132)=248.00$ ,  $p=0.0000$ , intervalo de confianza de 0.95.

## 8. DISCUSIÓN.

8.1 IDENTIFICACIÓN A NIVEL DE ESPECIE. Las claves existentes para el género *Typhlatya*, presentan al menos en los puntos mencionados en la sección 7.5 inconsistencias por lo cual debiera realizarse una revisión cuidadosa no solo de los caracteres referentes a *T. campechae* y *T. mitchelli*, sino de las demás especies.

Se utilizaron cuatro claves de identificación diferentes como apoyo; la de Sanz y Platvoet (1995), la de Álvarez, Iliffe y Villalobos (2005) quienes modificaron la clave

original de Sanz y Platvoet (1995), la de Hobbs y Hobbs (1976) y la establecida por Chace (1972). Se compararon los caracteres de identificación de las tres claves, y se encontró que McLaughlin, que toma como caracteres de identificación la presencia o ausencia de exopodos en los pereopodos y el rostro que debe ser corto y unirrámeo, de ojos reducidos con mínimo o sin pigmento; y que la quela del primero y segundo pereopodo, termina en conjunto de setas largas (McLaughlin, 1980). Las diferencias entre Álvarez et al., (2005) y Sanz y Platvoet (1995) consisten en los caracteres 5 y 6, pues Álvarez et al., (2005) toma como quinto carácter el tamaño de la sexta somita abdominal, siendo que de ser esta cuatro veces más larga que la quinta es la especie *T. garciadebrasi* y si la sexta somita abdominal, es menor que cuatro veces el largo de la quinta continúa la clave al carácter 6, la distancia carpo/propodo del segundo pereopodo sea mayor a 2.5, entonces se trata de la especie *T. mitchelli*.

Sanz y Platvoet (1995) presentan como el inciso 5 isquio y mero de todos los pereopodos separados; de ser así continúa la clave al carácter 7; isquio y mero de P3 y P4 están fusionados. La clave sigue al carácter 6; el cual consiste en la presencia de articulación isquiomerale en P5 de estar esta presente, se trata de la especie *T. mitchelli*. A diferencia de los autores anteriores, Hobbs y Hobbs (1976) consideran como carácter 5 el número de espinas presentes en el P4 siendo que, más de 5 espinas en la superficie flexora del dactilo del P4 continúa la clave al carácter 7; pero si se presentan de 1-4 espinas en la superficie flexora del dactilo del P4 entonces se trata de la especie *T. mitchelli*.

(En este carácter, hubo una inconsistencia, pues hay individuos que presentaban hasta 8 espinas lo cual nos llevaría al siguiente carácter, pero de seguir la clave obteníamos *T. galapagensis*, la cual no existe en México; por lo cual dicho carácter fue observado y registrado (Tabla 4) pero no fue tomado en cuenta para la identificación de los organismos.

**8.2 ESTRUCTURAS ESPECIALIZADAS EN P1 Y P2 DE *Typhlatya mitchelli*.** La variedad de setas encontradas en la parte distal de la quela son de tres tipos diferentes, todas con funciones tróficas ya que presentan articulación infracuticular en la cual el punto de articulación de la seta ocurre en un "socket" hundido en la cutícula, a diferencia de estas, las setas asociadas a movimientos natatorios, tienen articulación supracuticular y en su mayoría son setas plumosas (Watling, 1989). Los tres tipos de setas (Tabla 5) se pueden proponer de utilidad raspadora y en beneficio para recolectar alimento en el sistema anquihalino ya que el diámetro del lumen es amplio en proporción al tamaño total de estas (Figs. 6 y 8), confiriéndosele un uso funcional (Watling, 1989), con esto, el peso general de la seta se reduce pero la posibilidad de mantener la morfología especializada y abarcar más área persiste (Wainwright *et al.* 1982 en Watling, 1989). La morfología de la seta le confiere mayor solidez, fuerza y movilidad para la fricción que la acción raspadora le provea al obtener biofilm en sedimento, haloclina y paredes.

**8.2.2 USO DE LAS SETAS EN LA ALIMENTACIÓN.** La presencia de estructuras idénticas en las quelas de P1 y P2 de los organismos de los cenotes y del sistema anquihalino, sugieren un respaldo en una misma actividad ya sea raspar, filtrar, agregar. El agua es un compuesto que tiene viscosidad por lo que el movimiento a través de ella es en función de dos variables clave, el momento y la viscosidad y las proporciones relativas de estas dos variables cambian de acuerdo a la escala (Mann y Lazier, 1996). En escalas menores a 1mm que son los que le atañen a la *Typhlatya* los gradientes de la magnitud de la velocidad son suficientemente grandes para hacer el estrés viscoso significativo cuando se compara con otras fuerzas (Mann y Lazier, 1996). Por lo que para estructuras del tamaño de las setas y las que las recubren como son las

denticulaciones, ganchos y otras se exponen a fuerzas internas muy pequeñas y en comparación las fuerzas viscosas son mayores y predominan (Mann y Lazier, 1996). El flujo viscoso es reversible y un miembro moviéndose hacia atrás y hacia adelante crea un patrón sistemático de flujo (Mann y Lazier, 1996). Se puede raspar una bacteria de su superficie pero si el movimiento es simétrico la bacteria regresará a su lugar de origen (Mann y Lazier, 1996). Un movimiento complejo asimétrico debe hacerse si se quiere remover la bacteria de la cutícula (Strickler, 1984 en Mann y Lazier, 1996). Lo anterior sugiere que la redundancia observada en ambos pereiópodos pudiera generar movimientos opuestos capturando con mayor facilidad las partículas alimenticias. Las propiedades viscosas pueden ser usadas para tener ventajas en la alimentación dando como resultado diferentes movimientos posibles para la captura de alimento (Mann y Lazier, 1996). Esto describe con tres estrategias:

a) Si una partícula de alimento está cerca de la superficie de las partes bucales o estructuras destinadas a la obtención de alimento y dicha estructura se mueve en dirección paralela a su superficie plana, la partícula se moverá con ella debido a que el medio más cercano a su perímetro no se resbala, y las capas de agua que están en medio de manera progresiva desde el perímetro son jaladas por estrés viscoso (Strickler, 1984 en Mann y Lazier, 1996).

b) Si las estructuras (setas) son puestas juntas en la cercanía de la partícula de alimento (de golpe) la partícula escapa porque su inercia es insignificante comparada con las fuerzas viscosas que la llevan en el fluido (en contraste a la situación en que atrapamos un mosquito por aplaudir) pero si las setas se mueven en dirección opuesta y simultánea entonces pueden ejercer fuerzas viscosas jaladoras iguales y opuestas en la partícula para que se mantenga aproximadamente estacionaria y sea capturada (Strickler, 1984 en Mann y Lazier, 1996).

c) técnica denominada "flying and clap". Los dos dedos de la quela se abren de golpe jalando una porción del medio que contiene la partícula de comida. Los bordes más cercanos al influjo entonces convergen detrás de la partícula atrapándola y expulsando el agua a través de las setas (Strickler, 1984 en Mann y Lazier, 1996). Expulsar el agua continuamente a través de un tamiz fino es una actividad energéticamente costosa (Mann y Lazier, 1996), los camarones evitan este costo al filtrar el agua que pasa a través de las setas. En el caso de copépodos se ha visto que lo hace forzando por el segundo maxilípodo solo un pequeño volumen de agua que rodea a la partícula de comida (Mann y Lazier, 1996). Un apéndice con setas más que como una pala sólida le significa un gasto energético al organismo ya que el agua en lugar de quedar atrapada es forzada a salir entre las setas (Koehl y Strickler, 1981 en Mann y Lazier, 1996) conservándose el material particulado entre una seta y otra, esto lo resolvería *Typhlatya* con la redundancia de dos pereiópodos.

Con la teoría de filtración, Rubinstein y Koehl (1977) citado en Mann y Lazier (1996) propusieron diferentes mecanismos para explicar como es que las setas pueden atrapar partículas de un tamaño muchísimo menor al de ellas:

- 1) La seta funciona como parte de un tamiz convencional en el que una partícula es retenida debido a que es más grande que el espacio a través del cual el agua está pasando.
- 2) El agua que contiene a la partícula pasa tan cerca de la seta que la partícula colisiona, y debido al bajo número de Reynolds (ver 8.4.2) la partícula interacciona y se adhiere.

- 3) La partícula tiene suficiente momento para continuar más o menos en línea recta por lo cuál colisiona con la seta y el agua es desviada alrededor de la seta.
- 4) La partícula tiene un movimiento aleatorio en relación a la corriente de agua que la lleva y por difusión, o deposición motil la partícula tiene contacto con la seta.
- 5) El peso de la partícula produce deposición gravitacional un pequeño hundimiento que la lleva a tener el contacto con la seta.

Las partículas de talla mayor son filtradas con mayor facilidad debido al impacto inercial, depositación gravitacional e intersección directa. En contraste a menor talla la difusión es de la partícula mejorada (Rubinstein y Koehl, 1977 en Mann y Lazier, 1996).

8.3 DIETA DE *T. mitchellii* Las firmas isotópicas para  $\delta^{13}\text{C}$  (-43.11, -21.05) y  $\delta^{15}\text{N}$  (-0.54, 9.34) registradas (Tabla 6) (Fig. 9), confirman una dieta sostenida en bacterias con firmas isotópicas similares a las de otros ambientes quimioautótrofos (Tabla 9) (Pohlman *et al.*, 1997). Estas sugieren que muy probablemente se trate de bacterias sulforreductoras:

Tabla 6 Valores isotópicos obtenidos en estudios previos para ambientes sulforreductores.

<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>Objeto de estudio</b>	<b><math>\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}</math> (‰)</b>	<b><math>\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}</math> (‰)</b>
Escobar-Briones <i>et al.</i>	2002	Sedimentos sulfurosos	- 32.2 a - 18.0	3.4 a 11.1
Pohlman <i>et al.</i>	1997	Materia orgánica particulada del cenote (PPOM)	- 35.3 a +/- 2.0	6.7 a +/- 0.3
Grossman & Coffman 1989 en Pohlman <i>et al.</i>	1997	Bacterias metano tróficas	- 55 a - 90	Sin datos
Pohlman <i>et al.</i>	1997	Bacterias sulfo-oxidantes	- 34.3 (único dato)	Sin datos

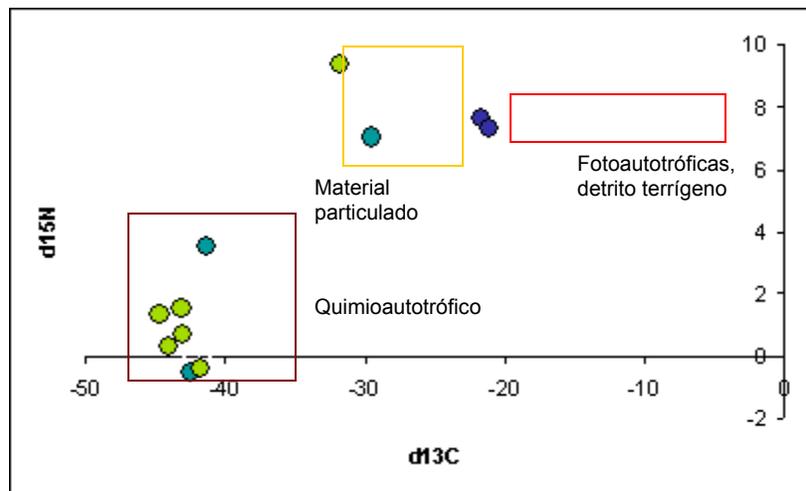


Figura 12 Resultados de la isotopía de organismos del género *Typhlatya*.

- Organismos colectados en Sistema Crustaceo bajo haloclina.
- Organismos colectados en Sistema Crustaceo sobre la haloclina.
- Organismos colectados en Mte. Bravo.
- Firmas isotópicas similares a las de vegetación  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-27.8 \pm 0.9$ )  $\delta^{15}\text{N}$  ( $2.2 \pm 0.9$ ) y suelo de la selva  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-27.8 \pm 0.4$ )  $\delta^{15}\text{N}$  ( $2.2 \pm 0.8$ ) (Pohlman *et al.* 1997).
- Firmas isotópicas similares a las de materia orgánica particulada proveniente de la alberca  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-35.3 \pm 2.0$ )  $\delta^{15}\text{N}$  ( $6.7 \pm 0.3$ ) (Pohlman *et al.* 1997).
- Firmas isotópicas similares a las de ambientes quimioautótrofos  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-41.1 \pm 0.3$ )  $\delta^{15}\text{N}$  ( $11.7 \pm 0.2$ ) (Escobar *et al.* 2002).

A 2.4 m de profundidad (corriente abajo), en la entrada de la cueva de Sistema Crustaceo se ha descrito una capa de sulfuro de hidrógeno tánico a lo largo de la cual se agregan tapetes bacterianos (Yager & Madden, 2002) fragmentos de dichos tapetes se agregan en burbujas de aire provenientes de distintos mecanismos (Pohlman *et al.*, 1997) que son arrastradas por la corriente al interior de la cueva agregándose en las paredes de esta (Pohlman, 1997); a lo largo del techo de la cueva en las estaciones 9 a 13 hay una fisura que concentra taninos, agua rica en sulfuro y detrito de la superficie en suspensión, lo que sostiene una gran densidad de bacterias y protozoarios; área en la cual se congrega el mayor número de camarones (Yager y Madden, 2002). La presencia de bacterias en los contenidos estomacales (Figs. 10 a 15) sugiere una dieta sostenida en bacterias. Al graficar los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  (Fig. 16) observamos tres marcas; la de los organismos colectados en el cenote en azul marino, los colectados sobre la haloclina en azul claro y los colectados bajo la haloclina en verde, al observar esto, se aprecia que individuos tanto por debajo como sobre la haloclina, comparten en algunos casos los mismos hábitos tróficos y en otros si no iguales muy similares.

En estudios en otros sistemas anquihalinos dichas relaciones sugieren una dependencia en la alimentación de materia orgánica particulada proveniente de la alberca del cenote (Pohlman *et al.*, 1997) aunque no total. Los datos apuntan a la flexibilidad de esta especie de alimentarse de materia orgánica particulada proveniente del suelo de la selva, materia orgánica particulada originada en la alberca del cenote y transportada al interior y de bacterias quimioautótrofas (Pohlman *et al.*, 1997)

Bacterias metanotróficas, sulfurreductoras y nitrificadoras pueden ser fuentes significativas de alimento en los sistemas anquihalinos ya que las bacterias metanotróficas tienen firmas isotópicas muy negativas (intervalo  $-55$  a  $-90\text{‰}\delta^{13}\text{C}$ ) cuando oxidan metano biogénico (Grossman y Coffman, 1989 en Pohlman *et al.*, 1997), mientras que las bacterias sulfo- reductoras, como en la haloclina del cenote Angelita,

presentan valores  $-34.3\text{‰ } \delta^{13}\text{C}$  (Pohlman *et al.*, 1997). La nitrificación común en ambientes afóticos oceánicos bajo concentraciones de oxígeno disuelto bajas es una posible alternativa (Gundersen 1966, Carlucci y McNally 1969 en Pohlman *et al.*, 1997). La excreción de metazoarios, la transformación de materia orgánica por bacterias y la amonificación por microbios heterótrofos actúan como fuentes de amonio que sostienen la población de nitrificadores (Pohlman *et al.*, 1997).

La excreción del zooplancton es regenerada a nutrientes por descomposición bacteriana (Lehman y Scavia 1982 en Mann y Lazier, 1996) en ausencia de luz. En mar abierto la transferencia de nutrientes de la bacteria al fitoplancton se reconoce por pequeñas partículas de materia orgánica que comúnmente están formadas en la superficie de las burbujas (Riley 1970 en Mann y Lazier, 1996) y forman agregados en la columna de agua (Silver *et al.* 1978; Silver y Alldredge 1981 en Mann y Lazier, 1996). Los agregados son degradados por bacterias (Alldredge y Cohen 1987 en Mann y Lazier, 1996) y se caracterizan por la presencia de concentraciones elevadas de fosfato de amonio y nitrato (Shanks y Trent 1979 en Mann y Lazier 1996). Desde hace tiempo se cree que la agregación de la superficie de las burbujas es un mecanismo importante en la conversión de materia orgánica disuelta a una forma particular (Mann y Lazier, 1996) dicha fuente de burbujas podría estar dada por aquellas producidas por los buzos que ingresan a la cueva y otros mecanismos o la generada por la descomposición en condiciones hipóxicas. El pulso de iones de hidrógeno en la haloclina indica que ocurre dicha actividad heterotrófica se lleva a cabo (Pohlman *et al.*, 1997).

8.4 COLUMNA DE AGUA. La columna de agua del Sistema Crustaceo comprende una capa de agua dulce que comienza en la superficie del cenote Pepe Pede's Palace de los cero a los 9 metros a los 13 m hay un cambio abrupto en la salinidad que se mantiene hasta los 14 metros, transición que comprende el área de la haloclina, zona de mezcla entre el agua dulce y salada (Schmitter - Sotto *et al.*, 2002), a los 15 m hay otro cambio que se debe a la proximidad de la masa de agua salada (Beddows, 2004) la cual comienza a los 16 m y se mantiene a partir de aquí con una similitud del 100% hasta los 17 m. Esto se observa también en la variación de densidad a lo largo de la columna de agua (Gráfica 5) que se debe a la presencia de las tres masas de agua dentro del sistema anquihalino (Steinich, 1996). Al observar el gráfico (Gráfica 5) y los datos (Tabla 7) de la variación de densidad a lo largo de la columna de agua del Sistema Crustaceo, se observan diferencias significativas ( $p=0.0000$ ) denotando la presencia de tres diferentes zonas de densidad o tres masas de agua (Mann y Lazier, 1996). El intervalo de densidad del agua de mar varía de 1.021 hasta 1.028  $\text{kg m}^{-3}$  confirmando la presencia de agua marina localizada en la parte más profunda de la columna de agua representada por el intervalo de datos de mayor densidad (Tabla 7). La segunda capa de agua es la de agua dulce proveniente de la precolación del agua de lluvia por el subsuelo (Smutter-Sotto *et al.*, 2002) que comprende un intervalo de 0.996 a 0.997 (Tabla 7) y la tercer masa de agua esta formada por la unión de las dos masas de agua principales que en su límite forman una zona de mezcla denominada haloclina (Smutter-Sotto *et al.* 2002). El Sistema Crustáceo se comunica con un cenote léntico; la variación del pH a lo largo de la columna de agua es similar a la descrita en cenotes de la zona (Schmitter-Sotto *et al.*, 2002) (Tabla 10). En los cenotes lénticos la masa de agua denominada epilimnion es básica y la denominada hipolimnion es ácida (Tabla 10) debido a que en esta área predomina algún tipo de respiración al igual que la formación de  $\text{H}_2\text{S}$  bajo condiciones anóxicas (Schmitter-Sotto *et al.* 2002).

Tabla 7 Valores del pH en sistemas anquihalinos.

<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>Masa de agua</b>	<b>pH</b>
Pohlman <i>et al.</i>	1997	5 cenotes de la Península de Yucatán	+/- 0.02
Alcocer <i>et al.</i>	1998	Casa Cenote	6.76 a 7.92
Alcocer <i>et al.</i>	1998	Carwash Cenote	6.73 a 7.47
Alcocer <i>et al.</i>	1998	Mayan Blue Cenote	6.77 a 7.31
Alcocer <i>et al.</i>	1998	Cristal Cenote	6.76 a 6.83
Alcocer <i>et al.</i>	1998	Nohoch Cenote	6.88 a 6.95
Shmitter-Soto <i>et al.</i>	2002	Epilimnion	Básico
Shmitter-Soto <i>et al.</i>	2002	Hypolimnion	Ácido
Shmitter-Soto <i>et al.</i>	2002	Cenotes lenticos cercanos a la costa	6.7 a 8.0

Los valores de oxígeno disuelto a lo largo de la columna de agua son hipóxicos (Gráfica. 3) debido a la ausencia de fotosíntesis. El agua subterránea se encuentra en continuoflujo, manteniendo constante la concentración lo cual no hace limitante la concentración en el ambiente subterráneo afótico y la ausencia del intercambio de oxígeno atmosférico (Illife, 1984 en Pohlman *et al.*, 1997). Al observar la Gráfica de los valores de OD, se ve un decremento de mas del 80% hasta los nueve metros esto se debe al ingreso dentro de la cueva y al brusco cambio en los niveles de luz (Pohlman *et al.*, 1997) (Tabla 12); de los 9 a los 13 metros es el área que coincide con la ocurrencia de la fisura por el techo del sistema, por la cual se incrementan los niveles de intrusión de materia orgánica (Yager y Madden, 2002), lo que favorece la productividad bacteriana y la respiración tendiendo a la eutrofización del agua en dicha área (Mann y Lazier, 1996) descendiendo más el OD y produciendo zonas próximas a anoxia esto se representa en las diferencias significativas ( $p=0.0000$ ) de las concentraciones de OD a lo largo de la columna de agua.

Tabla 8 Valores en las concentraciones de oxígeno disuelto en otros sistemas anquihalinos.

<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>Sistema</b>	<b>Valores DO (mg/L)</b>
Pohlman <i>et al.</i>	1997	5 cenotes de la Península de Yucatán	+/- 0.2
Alcocer <i>et al.</i>	1998	Casa Cenote	2.17 a 7.02
Alcocer <i>et al.</i>	1998	Carwash Cenote	2.98 a 4.68
Alcocer <i>et al.</i>	1998	Mayan Blue Cenote	0.64 a 4.07
Alcocer <i>et al.</i>	1998	Cristal Cenote	0.93 a 2.62
Alcocer <i>et al.</i>	1998	Nohoch Cenote	1.88 a 2.345
Shmitter-Soto <i>et al.</i>	2002	30 cenotes estudiados en la Península de Yucatán	Promedio: 4.46 Mínimo: 0.82 Máximo: 10.6

A lo largo de la columna de agua del sistema, la temperatura (Gráfica 6) máxima es de 29.82°C que va en descenso debido a la menor intensidad de luz (Pholman *et al.*, 1997) y a los 9 metros, la temperatura desciende hasta los 25.410°C debido al ingreso en la cueva con diferencias significativas ( $p=0.0000$ ) y se mantiene hasta los 13 metros y comienza a aumentar gradualmente la temperatura, este calentamiento gradual del agua puede estar asociado con excursiones termales (Beddows, 2004) (Tabla 12); esto puede ocurrir por calor helio termal, producción biogénica de calor o por la inyección de



8.4.1 HALOCLINA COMO SUSTRATO. Para poder considerar a la haloclina como un posible sustrato en el cual debido a la diferencia de densidad entre las masas de agua ocurra la acumulación de materia orgánica particulada, es necesario entender y considerar las propiedades viscosas y de densidad del agua y el modo en que los objetos ya sean animales o diferentes tipos de partículas, se desplazan a través de dicho ambiente viscoso. El movimiento a través del agua es en función del momento y la viscosidad y las proporciones relativas de estas variables cambian de acuerdo a la escala de los eventos estudiados (Mann y Lazier, 1996). Considerando que la viscosidad causa que el promedio de la velocidad del flujo decremente de su valor en aguas abiertas a cero en el límite de las diferentes masas de agua (Mann y Lazier, 1996). Podemos extrapolar esto al límite de las diferentes masas de agua dentro de la cueva permitiendo primero la estaticidad de las partículas suspendidas hasta la haloclina y que permanezcan ahí a menos que haya alteraciones por presencia de turbulencia (Mann y Lazier, 1996) pero si se toma en cuenta que la turbulencia del agua decrece hasta cero en el límite de diferentes masas de agua (Mann y Lazier, 1996). La presencia de turbulencia no representa un mecanismo real por el cual las partículas de materia orgánica en resuspensión puedan cruzar hasta la masa de agua marina y llegar así hasta el bentos de la cueva.

La turbulencia ayuda al transporte de nutrientes en aguas abiertas pero son demasiado débiles para transportar nutrientes a través del límite de la unión de las diferentes masas de agua (Mann y Lazier, 1996). El grosor de la masa de agua de la interfase se reduce en proporción a la velocidad del agua que pasa a través de ella (Mann y Lazier, 1996) por lo que en condiciones naturales podemos suponer que no hay forma de que las partículas de materia orgánica puedan continuar su deposición a través de la haloclina hasta la masa de agua salada ya que dentro de las cuevas no existe un mecanismo natural que produzca pulsos de agua hacia el techo de la cueva perturbando la horizontalidad de la haloclina y promoviendo la acumulación de materia orgánica particulada en suspensión.

Sabemos que hay materia orgánica particulada que llega hasta la masa de agua salada. Lo anterior, puede ocurrir por dos mecanismos diferentes: 1) puede ocurrir que haya un porcentaje de materia orgánica particulada en suspensión que alcance profundidades mayores a las de la haloclina antes de ingresar a la cueva ocasionando la presencia de dichas partículas en la masa de agua marina 2) hoy en día la ocurrencia de buzos se ha hecho muy común dentro de las cuevas anquihalinas de Yucatán ingresando un número de buzos al sistema a lo largo del día, lo que representa una fuente potencial de perturbación de la horizontalidad del flujo de las masas de agua favoreciendo el engrosamiento y la mezcla entre las masas de agua dulce y salada y produciendo giros de turbulencia mas grandes que son importantes porque determinan la excursión vertical de los organismos pasivos pequeños que son movidos por el flujo de turbulencia (Mann y Lazier, 1996). Por otro lado, la respiración de los buzos resulta en la producción abundante de burbujas que en su ascenso hacia el techo de la cueva rompen la haloclina favoreciendo la coagulación de la superficie de las burbujas formando coloides de materia orgánica (Mann y Lazier, 1996).

8.4.2 PAPEL DE LA HALOCLINA EN LA DISTRIBUCIÓN DE *T.mitchelli*. El número de Reynolds, dado por la ecuación  $Re = ud/\nu$  donde  $Re$  es el número de Reynolds,  $ud$  es velocidad y  $\nu$  es la viscosidad cinemática, es una guía útil al comparar la fuerza de inercia con las viscosas ejercidas sobre un objeto en movimiento a través del agua (Mann y Lazier, 1996). En casos de un número de Reynolds como es el caso de partículas suspendidas y bacterias ( $Re \approx 0.3 - 0.03$ ) que caen o nadan muy lentamente su movimiento está determinado principalmente por las fuerzas de viscosidad (Mann y Lazier, 1996). Ahora

bien, considerando que un copépodo cuya talla es de alrededor de 2 mm (Mann y Lazier, 1996) tiene un  $Re = 300$  (Mann y Lazier, 1996) podemos suponer que un camarón posee un  $Re$  un poco mayor lo que significa que su movimiento a través de la columna de agua está determinado principalmente por fuerzas inerciales. Por otro lado, la densidad de *T. mitchelli* se encuentra en un intervalo de  $1.147 - 1.222 \text{ g m}^{-3}$  (Tabla 8), es decir más densa incluso que la masa de agua salada ( $1.09 - 1.024 \text{ g m}^{-3}$ ) (Tabla 7), lo cual facilita su paso de una masa de agua a otra por otro lado fisiológicamente el camarón es capaz de tolerar y/u regular los cambios de salinidad en el agua. Durante el desarrollo embrionario de los crustáceos se forman órganos osmorregulatorios temporales y definitivos que presentan células conductoras de iones y enzimas como la  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  ATPasa permitiendo al embrión controlar la osmoregulación y tolerar la salinidad externa (Charmantier y Duares, 2001). El balance extracelular ácido-base en crustáceos decápodos está influenciado por la salinidad del agua (Whiteley *et al.*, 2001) permitiendo a los camarones tolerar cambios bruscos en la salinidad del agua al pasar de una masa de agua a otra (Charmantier y Duares, 2001).

## 9. CONCLUSIONES

Después de realizar las observaciones de los 42 ejemplares del género *Typhlatya* tanto en el microscopio óptico como en el MEB y ver las diversas morfologías de setas, se confirma que la hipótesis planteada  $Ha_1$  es verdadera y que las setas apicales de las quelas de los apéndices P1 y P2 de *Typhlatya mitchelli* presentándose tres morfologías (Tabla 5): simples, denticuladas y no denticuladas que le permiten tener funciones diversas. Las setas de la parte apical de las quelas de *T. mitchelli* pueden llegar a tener una función para agregar el alimento disperso en el sistema anquihalino.

Este estudio reconoce un tipo nuevo de seta, no descrita previamente (Tabla 5) y que en este estudio se nombra no denticulada, a manera de peine. Dichas setas se presentan en grupos de tres a cuatro en la parte basal central de la punta de la quela, rodeadas por todas las demás setas. A pesar de presentar morfologías diferentes, cada tipo de seta se presenta con la misma ubicación espacial (Fig. 8) y frecuencia (Apéndice 1) en P1 y P2 en todos los ejemplares; dicha variación en la morfología genera ventajas para el aprovechamiento energético.

Después de analizar la composición isotópica podemos rechazar  $Ho_2$  la cual propone que la composición isotópica de los organismos que habitan la penumbra y de los que habitan la cueva podría ser la misma, evidenciando una dieta basada en bacterias quimioautótrofas; esto se refuta con los valores de isotopía estable obtenidos (Tabla 6) los cuales evidencian como se propone en  $Ha_2$  que: La composición isotópica de los organismos que habitan en la penumbra y de los que habitan en la cueva presenta diferencias en los valores, evidenciando una dieta sujeta al área del sistema en el cual habitan. La especie utiliza diferentes sitios de alimentación en la cueva; por una parte la columna de agua donde se agregan las bacterias suspendidas y por otra la disponibilidad de *biofilm* en el sustrato, paredes y haloclina.

La haloclina es una frontera física de retención de las partículas en suspensión. Esta proporciona otra superficie de acumulo de alimento potencial para *T. mitchelli* lo que le confiere también importancia en la ecología de los organismos aún cuando éstos pueden físicamente cruzar dicha barrera pasando de una masa de agua a otra.

Con este estudio, pudo describirse la dieta y reconocer el papel funcional y diferencias morfológicas de las setas en las quelas de los pereiópodos (P1 y P2) de la especie del camarón carideo *Typhlatya mitchelli* en sistemas anquihalinos; que sugieren una conducta trófica, especializada en raspar tapetes bacterianos, es decir *biofilm* de paredes y raíces de la caverna y la cueva, al igual que la materia orgánica particulada, acumulada en la haloclina.

La composición isotópica estable  $\delta^{13}C$  y  $\delta^{15}N$  reconoció dos fuentes del origen en el alimento para el camarón, uno de origen fotoautotrófico en ejemplares de la penumbra y otro quimioautotrófico en el interior del sistema anquihalino.

Al analizar los contenidos gástricos en ejemplares del camarón carideo *Typhlatya mitchelli* se reconocieron predominantemente bacterias y material particulado, por una parte de origen fotoautotrófico en la zona de penumbra y degradado que se relaciona a los sistemas anquihalinos y fue posible relacionar la riqueza de setas con la dieta potencial de la especie.

La especialización que observamos en los organismos del genero *Typhlatya*, reflejan el desarrollo evolutivo que confiere un mejor y optimo aprovechamiento energético en condiciones ambientales extremas y a la vez la gran fragilidad que dichas especializaciones confieren a estos organismos, debido a que siendo tan especializados se vuelven vulnerables a cambios en el ambiente.

Este estudio contribuye al mejor entendimiento de organismos de hábitos estigobios y muestra la complejidad del ecosistema, sus redes tróficas e interacciones siendo que los organismos que lo habitan presentan adaptaciones que les confieren especializaciones para el óptimo aprovechamiento energético en el sistema.

## 10. REFERENCIAS (Journal of Crustacean Biology)

Álvarez, F., T.M. Iliffe, and J. L. Villalobos. 2005. New Species of the Genus *Typhlatya* (Decapoda: Atyidae) from Anchialine Caves in Mexico, the Bahamas and Honduras. *Journal of Crustacean Biology* 25 (1): 81 - 94.

Beddows, P.A. 2004. Groundwater Hydrology of a Coastal Conduit Carbonate Aquifer: Caribbean Coast of the Yucatan Peninsula, Mexico. Bristol University. Geographic Sciences Faculty. Doctoral Thesis. 249.

Botosaneanu, L., and L.B. Holtius. 1970. Subterranean Shrimps from Cuba (Crustacea Decapoda Natantia). *Speleological Institute of Bucarest* 9: 121 - 133.

Chace, A.F. 1942. A new Cave Shrimp from Cuba. *Proceedings of the New England Zoological Club* 23: 99 - 102.

Chace, A.F. 1954. Two new Subterranean Shrimps (Decapoda: Caridea) from Florida and the West Indies, with a revised key to American species. *Journal of the Washington Academy of Sciences* 44 (10): 317 - 324.

Chace, A.F., and B.R. Manning. 1972. Two new Caridean Shrimps, one representing a new Family, from Marine Pools on Ascension Island (Crustacea: Decapoda: Natantia). *Smithsonian Contributions to Zoology* 131: 2 - 19.

Charmanatier, G., and D.M. Charmantier. 2001. Ontogeny of Osmoregulation in Crustaceans: The Embryonic Phase. *American Zoologist* 41: 1078 - 1089.

Christansen, K., and T. Moberg. 1988. *Pseudosinella* Revisited. *Introduction to Journal Speleology* 17: 1 - 20.

Coplen, B.T., A.W. Brand, M. Gehre, M. Groning, J.A.H. Meijer, B. Toman, and M.R. Verkouteren. 2006. After two Decades a Second Anchor for the VPDB  $\delta^{13}\text{C}$  Scale. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 20: 3165 - 3166.

Coplen, B.T., A.W.Brand, M. Gehre, M. Groning, J.A.H. Meijer, B. Toman, and M.R. Verkouteren. 2006. New Guidelines for  $\delta^{13}\text{C}$  Measurements. *Analytical Chemistry* 78 (7): 2439 - 2441.

Escobar, B.E., P. Morales, E. Cienfuegos, and M. Gonzáles. 2002. Carbon Sources and Trophic Position of two Abyssal Species of Anomura, *Munidopsis alvisca* (Galatheidae) and *Neolithodes diomedeeae* (Lithodidae). *Contributions to the Study of East Pacific Crustaceans* 1: 37 - 43.

Estrada, A.R., y O. Gómez. 1987. Una nueva Especie del Genero *Typhlatya* (Decapoda: Atyidae) de Cuba. *Academia de Ciencias de Cuba. Instituto de Zoología. Poeyana* 355: 1 - 12.

Feuchtmayr, H., and J. Grey. 2003. Effect of Preparation and Preservation Procedures on Carbon and Nitrogen Stable Isotope Determinations from Zooplankton. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 17: 2605 - 2610.

Fry, B., R. Lutes, M. Northam, and L. P. Parker. 1982. A Comparison on Food Webs in Caribbean Seagrass Meadows and Coral Reefs. Elsevier Scientific Publishing Company. Aquatic Botany 14 : 389 - 398.

Guerrero, R., y M. Berlanga. 2000. Isótopos Estables: Fundamento y Aplicaciones. Actualidad SEM 30:17 - 23.

Hobbs, H. H. III, and H. H. Hobbs. 1976. On the Troglobitic Shrimps of the Yucatan Peninsula, México (Decapoda: Atyidae and Palemonidae). Smithsonian Contributions to Zoology 240: 1 - 23.

Humphreys, W.F., A. Poole, S.M. Eberhard, and D. Warren. 1999. Effects of Research Diving on the Physico-Chemical Profile of Bundera Sinkhole, an Anchialine Remiped habitat at Cape Range, Western Australia. Journal of the Royal Society of Western Australia 82: 99 - 108.

Iliffe, T.M. 1986. The Zonation Model for the Evolution of Aquatic Faunas in Anchialine Caves. Stygologia 2 (1/2): 2 - 9.

Iliffe, T.M. 1993. Fauna Troglobia Acuática de la Península de Yucatán, pp. 673-686. En, S.I. Salazar-Vallejo & N.E. González ed.. Biodiversidad Marina y Costera de México. Comité Nacional de Biodiversidad y CIQRO, México.

Juarrero, A., and M. Ortiz. 2000. The Genus *Typhlatya* (Crustaceo: Decapoda: Atyidae) in Cuba, with the Description of a New Species. Avicennia 12/13: 45 - 54.

López - Ramos, E. 1975. Geological Summary of the Yucatan Peninsula, pp. 257 - 282. En, A.E.M. Nairn, and M. Stehil, ed. The ocean basin and margin III. The Gulf of México and the Caribbean. Plenum, New York.

Mann, K.H., and J.R.N. Lazier. 1996. Dynamics of Marine Ecosystems, Biological - Physical Interactions in the Oceans. Blackwell Science. Cambridge 394.

Marín, S. L.E., and E.C. Perry. 1994. The Hydrogeology and Contamination Potential of Northwestern Yucatan, Mexico. International Geophysics 33 (4): 619 - 623.

McLaughlin, P.A. 1980. Comparative Morphology of Recent Crustacea. W.H.Freeman and Company 177.

Mejia, O. L., and R.G. Hartnoll. 2005. Modifications of eye Structure and Integumental Pigment in two Cave Crayfish. Journal of Crustacean Biology 25 (3): 480 - 487.

Mejia, O. L., and M. M. López. 2005. Are there Adaptation Levels to Cave Life in Crayfish? Journal of Crustacean Biology 25 (4): 593 - 597.

Mejia, O. L., R.G. Hartnoll, and M. M. López. 2006. Progressive Troglomorphism of Ambulatory and Sensory Appendages in three Mexican Cave Decapods. Journal of Natural History 40 (5 - 6): 255 - 264.

Pohlman, J.W., T.M. Illiffe, and L.A. Cifuentes. 1997. A Stable Study of Organic Cycling and the Ecology of an Anchialine Cave Ecosystem. *Marine Ecology Progress Series* 155: 17 - 27.

Reaka, L. 1973. Molting in Stomatopod Crustaceans I. Stages of the Molt Cycle, Setagenesis, and Morphology. *Journal of Morphology* 146: 55 – 80.

Sanz, S., and D. Platvoet. 1995. New Perspectives on the Evolution of the Genus *Typhlatya* (Crustacea, Decapoda): First Record of a Cavernicolous Atyid in the Iberian Peninsula, *Typhlatya miravetensis* n. sp. *Contributions to Zoology* 65 (2): 79 - 99.

Schimmelmann, A., and M.J. DeNiro. 1985. Stable Isotopic Studies on Chitin Measurements on Chitin/Chitosan Isolates and D-glucosamine Hydrochloride from Chitin, pp.357 – 364. In, R.A.A. Muzzareli, Ch. Jeuniaux, and G.W. Gooday, ed. *Chitin in Nature and Technology*. Plenum Press, Los Angeles.

Schimmelmann, A., and M.J. DeNiro. 1986. Stable Isotopic Studies on Chitin. II. The <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C and <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N Ratios in Arthropod Chitin. *Contributions in Marine Science* 29: 113 - 130.

Shmitter - Soto, J.J., F.A. Comín, E. Escobar, S. J. Herrera, J. Alcocer, M. E. Suárez, E.M. Gutierrez, A.V. Diaz, L.E. Marín, and B. Steinich. 2002. Hydrogeochemical and Biological Characteristics of Cenotes in the Yucatan Peninsula (SE Mexico). *Hydrobiologia* 476: 215 - 228.

Steinich, B., and L.E. Marin. 1996. Hydrogeological Investigations in Northwestern Yucatan, Mexico, Using Resistivity Surveys. *Ground Water* 34 (4): 640 - 646.

Stock, J.H., T.M. Illiffe, and D. Williams. 1986. The Concept “Anchialine” Reconsidered. *Stygologia* 2: 90 - 92.

Stock, J.H. 1986. Deep sea origin of Cave Fauna: an Unlikely Supposition. *Stygologia* 2 (1/2): 105 - 111.

Watling, L. 1989. A Classification System for Crustacean Setae Based on the Homology Concept, pp. 15 – 26. In, B. Felgenhauer, and L. Watling, ed. *Functional Morphology of Feeding and Grooming in Crustacea*. Crustacean Issues 6, Maine.

Werner, A.R., and A.W. Brand. 2001. Referencing Strategies and Techniques in Stable Isotope Ratio Analysis. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 15: 501 - 519.

Whiteley, N.M., J.L. Scott, S.J. Breeze, and L. McCann. 2001. Effects of Water Salinity on Acid-Base Balance in Decapod Crustaceans. *The Journal of Experimental Biology* 204: 1003 - 1011.

Wotton, R.S. 1996. Colloids, Bubbles, and Aggregates - a Perspective on their Role in Suspension Feeding. *The North American Benthological Society* 15(1): 127 - 135.

Yager, J., and M. Madden. 2002. Preliminary Analysis of the Ecology of a Cenote in Quintana Roo, Mexico, Characterized by its Extraordinary Quantities of Remipedes. Karst Water Institute Special Publication 7: 38 - 40.

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Especies del género <i>Typhlatya</i> y su ubicación geográfica actual. ....	7
Tabla 2 Profundidad en metros (m) de cada una de las localidades de recolecta de camarones de la especie <i>Typhlatya mitchelli</i> a lo largo del transecto en el sistema anquihalino Crustaceo, Puerto Morelos, Quintana Roo, México. ....	13
Tabla 3 Porción de muestra de organismos colectados en el cenote y en el sistema anquihalino introducida al espectrómetro de masas. ....	21
Tabla 4 Características taxonómicas y organismos muestreados, identificados a nivel de especie y sus inconsistencias (P4D pereiópodo # cuatro derecho P4I izquierdo; s = espina; - = ausencia de apéndice; * = no fue posible determinar el sexo). ....	23
Tabla 5 Descripción, nomenclatura y morfología de setas presentes en P1 y P2 de organismos del cenote y del sistema anquihalino; imágenes de microscopio óptico tomadas con aumento de 100x, imágenes MEB aumentos a) 2000x, c) 1500x y d) 500x.....	29
Tabla 6 Composición isotópica estable de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ para organismos colectados en el cenote Mte. Bravo (*) (preservado en etanol) y en el sistema anquihalino Crustaceo.....	31
Tabla 7 Intervalos de densidades de las diferentes masas de agua.....	34
Tabla 8 Datos de densidad de <i>T. mitchelli</i> .....	35
Tabla 9 Valores isotópicos obtenidos en estudios previos para ambientes sulforreductores. ...	43
Tabla 10 Reportes previos de valores del pH en sistemas anquihalinos. ....	46
Tabla 11 Reportes previos de valores en las concentraciones de oxígeno disuelto en sistemas anquihalinos. ....	46
Tabla 13 Reportes previos de temperatura en sistemas anquihalinos.....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vista del área mapeada hasta hoy del Sistema Crustaceo (Yager & Madden, 2002).....	10
Figura 2 Esquema del area medida en cada ejemplar; A – B; y vista del P4.....	14
Figura 3 Vista lateral de las regiones del cefalotórax de un carideo. Modificado de McLaughlin (1980).....	15
Figura 4 a) Diagrama que representa: 1. seta, 2. espina, 3. escama; b) diagrama de una seta ilustrando su morfología básica: 1. poro terminal, 2. dentículo, 3. sétula, 4. ánnulus, 5. columnilla, 6. lumen, 7. septum, 8. articulación (Tomado de Watling, 1989). ....	18
Figura 5 Diagrama de <i>T. campechae</i> . Tomado de Hobbs & Hobbs (1976). ....	23
Figura 6 <i>T. mitchelli</i> . Tomado de Hobbs & Hobbs (1976).....	23
Figura 7 vista de la parte ventral lateral del dedo fijo de Ty 20 A) Vista de extremos de la plataforma ocasionados por la eversión incompleta de las setas simples. ....	27
Figura 8 vista del dedo móvil de la quela del ejemplar Ty 3 de la especie <i>T. mitchelli</i> que presenta la ubicación espacial de A) setas simples. B) setas denticuladas. C) setas no denticuladas.....	29
Figura 9 Resultados de isotopía de los ejemplares del genero <i>Typhlatya</i> . ....	31
Figura 10 Frecuencias de la presencia de los diferentes componentes de la dieta de los camarones estudiados en el contenido estomacal.....	32
Figura 11 contenido estomacal Ty 15 vista de material amorfo de alrededor de 4 µm.....	33
Figura 12 bacterias, contenido estomacal Ty 22 bacterias de 0.5 a 2 µm.....	33
Figura 13 bacterias y material amorfo A), contenido estomacal Ty 22.....	33
Figura 14 contenido estomacal Ty 22, vista de una diatomea de 1 µm.....	34
Figura 15 material amorfo contenido estomacal Ty 10.....	34
Figura 16 Resultados de la isotopía de organismos de la especie <i>Typhlatya</i> .....	44

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Variación en los niveles de oxígeno disuelto a lo largo de la columna de agua de sistema Crustaceo n=17, F(14, 262)=258.77, p=0.0000, intervalo de confianza 0.95. ....	36
Gráfica 2 Variación del pH a lo largo de la columna de agua en sistema Crustaceo n=17, F(7,132)=248.00, p=0.0000, intervalo de confianza de 0.95. ....	37
Gráfica 3 Cambio en la salinidad a lo largo de la columna de agua de sistema Crustaceo n=17, F(7,132)=1085.2, p=0.0000, intervalo de confianza de 0.95. ....	38
Gráfica 4 Perfil de temperatura a lo largo de la columna de agua de sistema Crustaceo n=17, F(7, 132)=925.70, p=0.0000 intervalo de confianza de 0.95. ....	39
Gráfica 5 Variación de densidad del agua a lo largo del área muestreada en sistema Crustáceo n=17, F(7,29)=151.68, p=0.0000 intervalo de confianza de 0.95. ....	40
Gráfica 6 Relación de pH y salinidad a lo largo de la columna de agua del Sistema Crustáceo. ....	47

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	$X = [(R_{\text{muestra}}/R_{\text{patrón}}) - 1] \times 10^3 (\%)$ .....	21
Ecuación 2	$g = - 1/\rho \, dp/dz$ .....	22
Ecuación 3	$\rho = m/v$ .....	22

## ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice 1 Tabla de incidencias de los diferentes tipos de setas en los organismos de la especie <i>T. mitchelli</i> estudiados. (Da = dactilo; Pr = propodo; D = derecho; I = izquierdo; - = ausencia de apéndice; * = estructuras indistinguibles) Ejemplo: DaD: dactilo derecho. ....	59
Apéndice 2 Presencias y ausencias de contenido estomacal de diferentes tipos en los ejemplares estudiados.....	61

Apéndice 1 Tabla de incidencias de los diferentes tipos de setas en los organismos de la especie *T. mitchelli* estudiados. (Da = dactilo; Pr = propodo; D = derecho; I = izquierdo; - = ausencia de apéndice; \* = estructuras indistinguibles) Ejemplo: DaD: dactilo derecho.

ID Organismos	Pereiópodos						
	Setas	P1			P2		
		Simple	Denticulada	No denticulada	Simple	Denticulada	No denticulada
<i>Cenote</i>							
TyCC <sub>1</sub>		PrI: 20< DaD; Dal; PrD colapso el tejido de las muestras y no pudo utilizarse	* DaD; Dal; PrD colapso el tejido de las muestras y no pudo utilizarse	* DaD; Dal; PrD colapso el tejido de las muestras y no pudo utilizarse	colapso el tejido de la muestra y no pudo utilizarse el apéndice		
TyCC <sub>2</sub>		DaD:20<; PrD:20<; Dal; PrI; colapso el tejido de las muestras y no pudo utilizarse	DaD:20<; PrD:20<; Dal; PrI; colapso el tejido de las muestras y no pudo utilizarse	DaD:* ;PrD: 3 Dal; PrI; colapso el tejido de las muestras y no pudo utilizarse	DaD:20< Dal; PrD; PrI colapso el tejido de las muestras y no pudo utilizarse	DaD: 20< Dal; PrD; PrI colapso el tejido de las muestras y no pudo utilizarse	DaD: 3 Dal; PrD; PrI colapso el tejido de las muestras y no pudo utilizarse
TyCC <sub>3</sub>		DaD:20<; PrD:20<; Dal; PrI; colapso el tejido de las muestras y no pudo utilizarse	DaD:20<; PrD:20<; Dal; PrI; colapso el tejido de las muestras y no pudo utilizarse	DaD:* ;PrD: 3 Dal; PrI; colapso el tejido de las muestras y no pudo utilizarse	colapso el tejido de la muestra y no pudo utilizarse el apéndice		
EM22692		Los apéndices de estos organismos no fueron removidos para estudiarse, pues los especímenes se utilizaron para realizar las mediciones de la densidad					
EM (1)							
EM (2)							
EM22698 (1)							
EM22698 (2)							
EM22698 (3)							
<i>Sistema anquihalino</i>							
Ty1		DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; PrI:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; PrI:20<	DaD: *; Dal: *; PrD:*; PrI:*	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; PrI:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; PrI:20<	DaD: 1*; Dal:*; PrD: 4; PrI: 3
Ty2		DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; PrI:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; PrI:20<	DaD: 3; Dal:*; PrD:4; PrI:4	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; PrI:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; PrI:20<	DaD:1*; Dal:*; PrD: 3; PrI: 4
Ty3		DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; PrI:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; PrI:20<	DaD: 3; Dal:*; PrD: 4; PrI: 4	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; PrI:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; PrI:20<	DaD: 2; Dal:*; PrD: 2; PrI: 2
Ty4		DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<;	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<;	DaD: *; Dal:*; PrD: 3; PrI: 4	—	—	—

		Prl:20<	Prl:20<				
Ty5		DaD:20<; PrD:20<;	DaD:20<; PrD:20<;	DaD: 2; PrD: 4; P1I: -	Dal:20<; Prl:20<	Dal:20<; Prl:20<	Dal: *; Prl: 4; P2D: -
Ty6		Dal:20<; Prl:20<	Dal:20<; Prl:20<	Dal: *; Prl: 4; P1D: -	-	-	-
Ty7		-	-	-	-	-	-
Ty8		DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:*; Dal:4; PrD:4; Prl:*	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:4; Dal:*; PrD:4; Prl:*
Ty9		-	-	-	-	-	-
Ty10		DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:*; Dal:3; PrD:4; Prl:4	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:*; Dal:2; PrD:*; Prl:2
Ty11		DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD: -; Dal:4; PrD:4; Prl: -	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:3; Dal:*; PrD:*; Prl:*
Ty12		-	-	-	-	-	-
Ty13		-	-	-	-	-	-
Ty14		-	-	-	-	-	-
Ty15		DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:*; Dal:*; PrD:*; Prl:4	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:*; Dal:*; PrD:4; Prl:4
Ty16		DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:3; Dal:3; PrD:4; Prl:3	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:3; Dal:4; PrD:3; Prl:4
Ty17		DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:*; Dal:*; PrD:2; Prl:3	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:*; Dal:*; PrD:2; Prl:1
Ty18		DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:*; Dal:*; PrD:4; Prl:4	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:3; Dal:3; PrD:*; Prl:*
Ty19		DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:2; Dal:3; PrD:3; Prl:4	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:3; Dal:3; PrD:2; Prl:4
Ty20		DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:*; Dal:*; PrD:2; Prl:2	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:*; Dal:*; PrD:2; Prl:3
Ty21		DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:3; Dal:*; PrD:*; Prl:*	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:2; Dal:2; PrD:*; Prl:*
Ty22		DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:*; Dal:*; PrD:*; Prl:*	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:*; Dal:*; PrD:3; Prl:*
Ty23		DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:3; Dal:3; PrD:*; Prl:3	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	-
Ty24		-	-	-	-	-	-
<i>Muestras Congeladas</i>							
TyA		-	-	-	-	-	-

TyB		DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	-	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:3; Dal:3; PrD:4; Prl:4
TyC		DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:*; Dal:3; PrD:4; Prl:*	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:20<; Dal:20<; PrD:20<; Prl:20<	DaD:3; Dal:3; PrD:*; Prl:*
TyD		-	-	-	-	-	-
Ty1		-	-	-	-	-	-
Ty2		-	-	-	-	-	-
Ty3		-	-	-	-	-	-
Ty4		-	-	-	-	-	-
Ty5		-	-	-	-	-	-

Apéndice 2 Presencias y ausencias de contenido estomacal de diferentes tipos en los ejemplares estudiados.

	ID Organismo	Materia Orgánica Amorfa	Restos de Invertebrados	Bacterias	Diatomeas	
<i>Cenote</i>						
	TyCC <sub>1</sub>	1	0	0	1	
	TyCC <sub>2</sub>	0	0	0	1	
	TyCC <sub>3</sub>	1	0	1	0	
	EM22692	0	0	0	1	
	EM (1)	1	0	1	1	
	EM (2)	1	0	0	1	
	EM22698 (1)	1	0	0	0	
	EM22698 (2)	0	0	1	1	
	EM22698 (3)	0	0	1	0	
		5	0	4	6	
<i>Sistema anquihalino</i>						
	Ty1	1	0	1	0	BH
	Ty2	1	0	0	0	BH
	Ty3	1	0	1	0	BH
	Ty4	1	0	1	0	BH
	Ty5	0	0	1	0	BH
	Ty6	1	0	1	0	BH
	Ty7	1	0	0	0	BH
	Ty8	0	1	0	0	BH
	Ty9	0	0	0	0	BH
	Ty10	1	0	0	0	BH
	Ty11	0	0	0	0	BH
	TyA	0	0	0	0	BH
	TyB	1	0	0	0	BH
	TyC	1	0	1	0	BH
	TyD	1	0	1	0	BH

	Ty2	1	0	1	0	BH
		11	1	8	0	
	Ty12	1	0	1	0	I
	Ty13	1	0	1	0	I
	Ty14	0	0	1	0	I
	Ty15	1	0	1	0	I
	Ty16	1	0	1	0	I
	Ty17	1	0	1	0	I
	Ty18	0	0	1	0	I
	Ty19	1	0	1	0	I
		6	0	8	0	
	Ty20	0	0	1	0	SH
	Ty21	0	0	1	0	SH
	Ty22	0	0	1	0	SH
	Ty23	0	0	1	0	SH
	Ty24	0	0	1	0	SH
	Ty1	0	0	0	0	SH
	Ty3	0	0	1	0	SH
	Ty4	0	0	1	0	SH
	Ty5	0	0	1	0	SH
		0	0	8	0	

## AGRADECIMIENTOS

Al ICML por el apoyo prestado para llevar a cabo este estudio durante las gestiones del Dr. A. Peña y A. Gracia.

### POR LA GUÍA Y FRUCTÍFERO INTERCAMBIO DE IDEAS EN ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Dra. Elva Escobar Briones, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

Dr. Javier Alcocer, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM

Dr. Fernando Álvarez y Dr. José Luis Villalobos, Colección Nacional de Crustáceos, Instituto de Biología, UNAM  
Dr. David A. Salas, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

### POR EL APOYO TÉCNICO CON ANÁLISIS

De la edición de video e imágenes: M. en C. Héctor Alexander, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

De isotopía estable M. C. Edith Cienfuegos y M. C. Pedro Morales Laboratorio de Isotopía Estable del Instituto de Geología, UNAM

De Microscopía Electrónica de Barrido: M. en C. Jorge Sepúlveda, Instituto de Fisiología Celular, UNAM

### POR APOYO EN EL TRABAJO DE CAMPO:

Brigit van Tussenbroeck, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Puerto Morelos

Dra. Jill Yager Department of Environmental & Biological Sciences, Antioch College de O.H. U.S.A

Mr. Mike Madden, Nohoch Nah Chich Exploration Team y su equipo de exploradores

Dr. Alejandro Botello, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

### POR LA RETROALIMENTACIÓN:

Dr. Les Watling, U. Hawaii en Manoa

Eddy Carmack, Department of Fisheries and Oceans, Institute of Ocean Sciences, Sydney, British Columbia.

### EL APOYO FINANCIERO QUE HIZO POSIBLE ESTE ESTUDIO:

Proyecto 40158-F de CONACYT