

**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**  
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS  
BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS



**MORFOMETRÍA DEL TUBO DIGESTIVO Y CONTENIDO  
INTESTINAL DEL PEPINO DE MAR *Isostichopus  
badionotus* (SELENKA, 1867) EN EL PONIENTE DEL  
ESTADO DE YUCATÁN**

TRABAJO DE TITULACIÓN EN LA MODALIDAD DE:

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

PRESENTA:

**GABRIELA VERGARA SÁNCHEZ**

DIRECTOR DE TESIS:

DR. PEDRO LUIS ARDISSON HERRERA

ASESOR:

DR. EDUARDO RÍOS JARA

LAS AGUJAS, ZAPOPAN, JALISCO, MAYO DEL 2011



**Universidad de Guadalajara**  
**Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias**

*Coordinación de Carrera de la Licenciatura en Biología*

COORD-BIO-079/2010.

**C. Gabriela Vergara Sánchez**  
**PRESENTE**

Manifiestamos a usted, que con esta fecha, ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de TESIS E INFORMES opción TESIS con el título: "Morfometría del tubo digestivo y contenido intestinal del pepino de mar *Isostichopus badionatus* (Selenka, 1867) en el poniente del estado de Yucatán". para obtener la Licenciatura en Biología.

Al mismo tiempo le informamos, que ha sido aceptado como directora de dicho trabajo a: **Dr. Pedro Luis Ardisson Herrera** y como asesor al **Dr. Eduardo Ríos Jara**

Sin más por el momento, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**"PIENSA Y TRABAJA"**

**"2010 Bicentenario de la Independencia y Centenario de la Revolución Mexicana"**  
Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jal., 13 de Julio del 2010.

Dra. Teresa de Jesús Aceves Esquivias  
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

M.C. GLORIA PARADA BARRERA  
SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

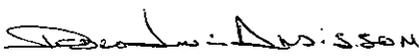
Dra. Teresa de Jesús Aceves Esquivias.  
 Presidente del Comité de Titulación.  
 Licenciatura en Biología.  
 CUCBA.  
 Presente

Nos permitimos informar a usted que habiendo revisado el trabajo de titulación, modalidad **Tesis e Informes**, opción **Tesis** con el título: **"Morfometría del tubo digestivo y contenido intestinal del pepino de mar *Isostichopus badionotus* (Selenka, 1867) en el poniente del estado de Yucatán"** que realizó el/la pasante **Gabriela Vergara Sánchez** con número de código **302417065** consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorizar su impresión.

Sin otro particular quedamos de usted con un cordial saludo.

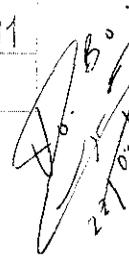
Atentamente

Mérida, Yucatán a 11 de Febrero de 2011.

  
 Firma  
 Nombre **PEDRO LUIS DADISSON HERRERA**  
 Director/a del trabajo,

  
 Firma  
 Nombre **Eduardo Ríos Jara**  
 Asesor(es)

Nombre completo de los Sinodales asignados por el Comité de Titulación	Firma de aprobado	Fecha de aprobación
M. en C. Eduardo Juarez Carrillo		22/03/11
M. en C. Martín Perez Peña		25/02/11
Dra. Georgina Adriana Quiroz Rocha		28/02/11
Supl. M. en C. Ildefonso Enciso Padilla		10/03/11

  
 B°  
 22/03/11

*Dedicatoria*

*A Dios  
A mi familia  
y a Elton  
por su amor, su apoyo incondicional y paciencia.*

## **Agradecimientos**

Al Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara, por brindarme su apoyo académico e institucional, así como darme las herramientas para la realización de la tesis.

Al Departamento de Recursos del Mar, Cinvestav, por haberme aceptado como estudiante de Prácticas Profesionales y haberme brindado la oportunidad de realizar mi Tesis.

Al Dr. Pedro Luis Ardisson Herrera, por la dirección de la tesis. De igual forma al Dr. Eduardo Ríos Jara por su asesoría en la realización de la tesis, así como, le agradezco por sus anécdotas y consejos durante la licenciatura.

A los miembros del sínodo, M. en C. Eduardo Juárez Carrillo, M. en C. Martín Pérez Peña, Dra. Georgina Adriana Quiroz Rocha y M. en C. Ildefonso Enciso por su paciencia en la revisión de la tesis, así como sus consejos y aportaciones a la misma.

A la Ing. Acuác. María Teresa Herrera Dorantes en su valiosa ayuda en la identificación de los organismos del bentos y el procesamiento de muestras.

A la M. en C. Alicia Virginia Poot Salazar por brindarme su amistad, su apoyo laboral y académico, así como la oportunidad de trabajar con ella.

A mis compañeros(as) del laboratorio de Bentos por su ayuda en el laboratorio y por hacer muy amena mi estancia, M. en C. Gabriel Kuk, M en C. Carlos Enrique Paz, M. en C. Marcela Montserrat Landero Figueroa, Biol. Nancy Berenice Domínguez Cruz, Yuriko Jocselin Martínez Hernández y Alejandro Rojas Hernández.

## Tabla de contenido

Resumen.....	V
Lista de Cuadros.....	VI
Lista de figuras.....	VII
1. Introducción.....	8
2. Antecedentes.....	10
3. Planteamiento del problema.....	14
4. Justificación.....	14
5. Hipótesis.....	14
6. Objetivos.....	15
6.1 Objetivo general.....	15
6.2 Objetivos particulares.....	15
7. Métodos.....	16
7.1 Área de estudio.....	16
7.2 Diseño de muestreo y colecta.....	17
7.3 Trabajo de campo.....	17
7.4 Trabajo de laboratorio.....	17
7.5 Análisis de contenido intestinal.....	18
7.6 Análisis de datos.....	19
8. Resultados.....	22
8.1 Morfometría del tubo digestivo y talla corporal.....	27
8.2 Contenido intestinal y talla corporal.....	31
9. Discusión.....	37
10. Conclusiones.....	40
11. Literatura citada.....	42

## Resumen

En el curso de la última década se ha producido en Yucatán una alta tasa de explotación del recurso pepino de mar, lo que ha traído como consecuencia que sus poblaciones se hayan visto reducidas, tal es el caso de la especie *Isostichopus badionotus*. Uno de los aspectos sobre los que se carece de información sobre este recurso es la alimentación, aspecto que se ha revelado crítico en los intentos que se han conducido por cultivarla bajo condiciones controladas, de ahí que conocer sus preferencias alimentarias en el medio natural resulte crucial. No obstante, a pesar de su importancia comercial reconocida, este es un recurso poco estudiado, más aún en el estado de Yucatán. El presente estudio, aporta bases para la continuidad de estudios respecto a la alimentación de pepino de mar, el cual se realizó sobre la base de una muestra poblacional de 92 individuos obtenida mediante buceo autónomo (SCUBA) en las localidades de Celestún, Sisal y Progreso del estado de Yucatán durante el mes de septiembre 2009. Se examinó la relación entre la talla corporal, la morfometría del tubo digestivo y el contenido intestinal de los individuos. Los componentes alimenticios encontrados en el contenido intestinal fueron cuantificados por frecuencia de ocurrencia, porcentaje de área y gravimetría, como también se cuantificó la abundancia de las microalgas presentes en el detrito. Se obtuvieron relaciones entre el contenido intestinal y la talla corporal, así como entre el peso húmedo y la longitud del tubo digestivo. Se encontraron 3 componentes alimenticios principales: detrito, macroalgas y moluscos. Las relaciones entre las medidas morfométricas de los individuos y su intestino resultaron positivas con una  $R^2$  de 0.58, como también entre éstas con relación al peso del contenido intestinal. Con respecto a las comparaciones entre localidades, no se observaron diferencias significativas en el contenido intestinal mostrando una  $R$  (similitud) de -0.1 y 0.4 y un nivel de significancia 8.6%, aunque, se encontró variación en la cantidad de alimento ingerido entre ellas. Se concluye que la especie de pepino de mar *I. badionotus* consume una dieta compuesta principalmente de detrito (materia orgánica, microalgas), algas calcáreas (*Hallimeda incrassata* y *H. opuntia*), moluscos (*Caecum pullchellum*). También se encontró que, el alimento ingerido no es proporcional a su talla corporal y peso húmedo.

## Lista de Cuadros

Cuadro 1. Prueba de Kolmogorov para bondad de ajuste .....	20
Cuadro 2. Matriz de componentes alimenticios por individuo en gramos ( $n=4$ ) y sitio de muestreo (1-12): 1...4, Celestún; 5...8, Sisal; 9...12, Progreso .....	20
Cuadro 3. Longitud total (talla), peso húmedo del pepino de mar <i>I. badionotus</i> . .	22
Cuadro 4. Talla corporal (longitud total), longitud, área y volumen del tubo digestivo del pepino de mar <i>I. badionotus</i> .....	23
Cuadro 5. Contenido intestinal de <i>Isostichopus badionotus</i> por localidad. F= frecuencia, FO= frecuencia de ocurrencia, PA= porcentaje del área, G= Gravimetría .....	25
Cuadro 6. Análisis de la varianza no paramétrica por Kruskal –Wallis (ANAVA) de microalgas.....	27
Cuadro 7. Correlaciones de Spearman de las biometrías de la especie <i>Isostichopus badionotus</i> con relación a su talla corporal. Se representa en las columnas las biometrías del pepino de mar y en las filas se presenta la morfometría del tubo digestivo.....	29
Cuadro 8. Análisis de la varianza no paramétrica por Kruskal –Wallis (ANAVA) para la relación entre la talla corporal y la longitud del tubo digestivo.....	30
Cuadro 9. Análisis de similitud del peso húmedo de los componentes alimenticios por localidad.....	33
Cuadro 10. Análisis de porcentaje de similitud (SIMPER) para cuantificar la contribución de los componentes alimenticios en las localidades. SP, similitud promedio de cada localidad; AP, abundancia promedio; %C, porcentaje de contribución; % Acum, porcentaje acumulado.....	34
Cuadro 11. Correlaciones de Spearman de las biometrías de la especie con relación al peso del contenido intestinal. Se representa en las columnas las biometrías del pepino de mar y en las filas se presenta la morfometría del tubo digestivo.....	36

## Lista de figuras

Fig. 1. Área de estudio. ❖, los sitios de colecta se ubicaron entre las isobatas 10 y 20 m. ....	16
Fig. 2. Diseño de muestreo para la colecta de individuos de pepino de mar. Localidades y sitios de colecta, Celestún 1...4, Sisal 5...8 y Progreso 9...12. ....	17
Fig. 3. Mediana y desviación estándar del peso de los componentes alimenticios por sitio de muestreo (1-12): 1...4, Celestún; 5...8, Sisal; 9...12, Progreso. A) Detrito; B) Algas calcáreas; D) Moluscos; E) Otros.....	21
Fig. 5. Variación en la abundancia de microalgas en el tubo digestivo por localidad.....	26
Fig. 6. Relación entre de la morfometría del tubo digestivo y la biometría del pepino de mar. A) Peso húmedo vs. longitud del tubo digestivo; B) Longitud total del pepino vs. el peso húmedo del pepino; C) Longitud total del pepino vs. la longitud del tubo digestivo; D) Peso húmedo del pepino vs. el volumen del tubo digestivo.....	28
Fig. 7. Longitud del tubo digestivo con relación a la talla de <i>Isostichopus badiotus</i> , mostrando la longitud mínima, máxima y el promedio por cada intervalo de talla.....	30
Fig. 8. Preferencias alimenticias de <i>I. badiotus</i> por talla corporal y peso del componente alimenticio. A) Tres localidades integradas; B) Celestún; C) Sisal y D) Progreso. ....	32
Fig. 9. Preferencias alimenticias de <i>I. badiotus</i> por peso húmedo y peso de los componentes alimenticios. A) Tres localidades integradas; B) Celestún; C) Sisal y D) Progreso.....	33
Fig. 10. Análisis de Agrupamiento (CLUSTER). 1...4, Celestún; 5...8, Sisal; 9...12, Progreso.....	35
Fig. 11. Escalamiento multidimensional (MDS). 1...4, Celestún; 5...8, Sisal; 9...12, Progreso. ....	36

## 1. Introducción

Los pepinos de mar son invertebrados bentónicos exclusivamente marinos, conocidos comúnmente como pepinos, holoturias o cohombres de mar (Hendler *et al.*, 1995). De acuerdo con Morgan & Archer (1999) forman parte del:

Phylum Echinodermata

Clase Holothuroidea y se agrupan en seis órdenes:

Orden Dendrochirotida

Dactylochirotida

Apodida

Molpadida

Elasipodida

Aspidochirotida

En el mundo se registran cerca de 1,250 especies (Hendler *et al.*, 1995) distribuidas en todas las latitudes, desde aguas someras hasta profundidades de 10,000 m (Lalli & Parsons, 1997). Su presencia se relaciona con su preferencia por hábitats relativamente protegidos, pudiendo ocupar sustrato rocoso, arenoso o limoso (Sambrano *et al.*, 1990). Su abundancia depende, entre otros factores, de la temperatura del agua y del tamaño de grano del sedimento (Yingst, 1982).

El modo de reproducción dominante en los pepinos de mar es el sexual, aunque algunas especies se reproducen asexualmente (Hendler, *et al.*, 1995); la mayoría son gonocóricos e iteróparos (Conand, 1989) y presentan fecundación externa (Uthicke & Conand, 2005). Los pepinos se alimentan de sedimento superficial, detrito y microorganismos asociados. La selección y preferencia alimenticia dependen de factores ecológicos, conductuales y fisiológicos. Por su parte, la absorción del alimento ingerido depende de las características anatómicas y fisiológicas del tracto digestivo (Ruiz *et al.*, 2007). Los pepinos de mar son importantes procesadores del sustrato, al ser capaces de asimilar los microorganismos asociados al material orgánico e inorgánico presente en el mismo (Sambrano *et al.*, 1990).

Este grupo de organismos presenta varios mecanismos de defensa. Uno de ellos consiste en expulsar túbulos ciegos adhesivos, llamados túbulos de Cuvier, al que recurren cuando son confrontados a un predador, principalmente peces carnívoros y/o crustáceos (Hendler *et al.*, 1995). Otro mecanismo es la evisceración, el que se confunde frecuentemente con la expulsión de los túbulos de Cuvier y mediante el cual, dependiendo de la especie, se rompe el extremo anterior o posterior del cuerpo y se expulsa parte del tubo digestivo y órganos asociados.

El tracto digestivo de los holotúridos es dos veces más largo que su cuerpo y tiene otras funciones además de la digestión y la absorción de nutrientes. De acuerdo con la teoría de la digestión óptima (Sibly, 1981), los organismos que consumen alimentos de baja calidad tienen tracto digestivo más largo que los que consumen componentes alimenticios de alta calidad. Considerando lo anterior, es probable que la longitud del tracto digestivo en los pepinos de mar se relacione directamente con el tamaño corporal del individuo y con la cantidad y composición del alimento que ingieren en su hábitat.

El presente trabajo pretende contribuir al conocimiento sobre la biología de la especie *Isostichopus badionotus*, ya que son pocos los trabajos realizados sobre el tema de la alimentación. Con este propósito, se analizó el contenido intestinal de esta especie de pepino de mar y se relacionó con variables morfométricas de los individuos. En particular, se determinó si los requerimientos alimenticios (cantidad del sedimento ingerido) cambian con la talla de los individuos. La información generada aporta las bases para mejorar las prácticas de manejo del recurso ante la fuerte presión de pesca destinada a satisfacer los requerimientos del mercado de exportación.

## 2. Antecedentes

*Isostichopus badionotus* (Selenka, 1867) (Echinodermata: Holothuroidea) es una especie epibentónica que habita fondos arenosos, limosos y/o cubiertos por pastos marinos. Su presencia y abundancia se ha relacionado con la estabilidad de la columna de agua, la temperatura del agua, la porosidad y el tamaño de grano del sedimento, y el contenido de materia orgánica y fósforo total (Sloan & von Bodungen, 1980). En la especie *Parastichopus parvimensis* se ha observado que individuos de tallas pequeñas encuentran refugio entre rocas y oquedades, alimentándose de partículas finas del sedimento, a diferencia de individuos de tallas mayores a los que se les ha encontrado en áreas expuestas sobre sedimento de grano grueso (Yingst, 1982).

En el tracto digestivo de *I. badionotus* y *Holothuria mexicana* se ha encontrado evidencia de que ingieren partículas pequeñas, por debajo de 3 mm, lo que sugiere que la ingestión del sedimento no se produce al azar (Sambrano *et al.*, 1990). Aunque el hecho de que exista selección del alimento es aún controversial, la evidencia que se desprende de estudios como los de Bakus (1973), Sloan & von Bodungen (1980) y Roberts & Bryce (1982) contribuyen a sustentar el argumento de que estos organismos seleccionan partículas al interior de un intervalo específico de tamaño. En un trabajo experimental realizado sobre *Stichopus* (= *Apostichopus*) *japonicus* para conocer la actividad alimenticia en esta especie, se encontró que durante los meses de abril a agosto se alimentan poco y de septiembre a marzo presentan una mayor actividad alimenticia (Michio *et al.*, 2003).

En la especie *A. japonicus* Liu *et al.*, (2009) no encontraron diferencias en el tipo de sedimento seleccionado como alimento al no tener un efecto detectable sobre su crecimiento. Slater & Carton (2009) encontraron que *Australostichopus mollis* es una especie capaz de procesar restos de bivalvos y de reducir su contenido orgánico, lo que puede tener un efecto significativo sobre la estructura y la química del sedimento.

Wing *et al.*, (2008), al realizar un estudio sobre la plasticidad en la dieta de dos especies de equinodermos (*Evechinus chloroticus* y *Stichopus mollis*), mostraron que la estructura poblacional de estas especies se encuentra fuertemente influenciada por la salinidad, lo que afecta la biomasa de macroalgas y su propia abundancia.

El incremento de las actividades humanas en la costa de Yucatán ha propiciado un deterioro paulatino de los ecosistemas costeros. Algunos de los agentes de deterioro no son fácilmente detectables, menos aún cuando se carece de criterios de referencia. El estudio de Medina-González *et al.*, (2004) en el cual se evaluaron las concentraciones de cadmio, cromo, cobre y plomo en sedimento en tres especies de pepinos de mar (*Holothuria floridana*, *I. badionotus* y *Astichopus multifidus*) con la finalidad de valorar las posibilidades de utilizar a los pepinos de mar como bioindicadores de contaminación, se encontró que no existen evidencias suficientes para establecer relaciones directas entre las concentraciones de los metales analizados en sedimento y las concentraciones en los organismos utilizados en el estudio.

#### Estado actual de las pesquerías de pepino de mar en el mundo

En la mayoría de los países, los pepinos de mar son extraídos para mantener su demanda en el mercado oriental. Durante mucho tiempo y en todo el continente asiático, los pepinos de mar han sido un alimento básico en la dieta de la población, fundamentalmente en sopas y guisos, por lo que la demanda ha sido elevada. Consecuencia de ello ha sido que las especies que soportan este mercado han disminuido en las áreas de pesca tradicionales de Asia, y que la actividad se haya extendido a nuevas áreas de pesca a través del mundo (Toral-Granda *et al.*, 2008). Tan sólo en el Pacífico Asiático este recurso, es capturado entre 20,000 y 40,000 t año<sup>-1</sup> (Fundación NUESTROMAR, 2009). El rápido ritmo de desarrollo de la pesca para satisfacer la creciente demanda internacional está poniendo en peligro a la mayoría de las pesquerías de numerosas especies de pepinos de mar (FAO, 2008).

Sin embargo, se conoce poco aún sobre la ecología, biología y estado poblacional de la mayoría de las especies sometidas a explotación (Calva, 2003; FAO, 2004). La respuesta de una población a la sobrepesca depende de sus características biológicas y de modo de vida. Generalmente, las especies pequeñas presentan alta fecundidad, oocitos pequeños y talla de madurez sexual menor, mientras que especies de talla mayor poseen baja fecundidad, oocitos grandes y tallas de primera madurez mayores (Conand, 1989).

#### Estado actual de la pesquería de pepino de mar en México

En México, la captura de pepino de mar se inició en la costa del Pacífico a finales de los años 1980s con la especie *Isostichopus fuscus* (Ludwig, 1875). Las capturas llegaron a superar las 1,000 t en 1991; sin embargo, a solo cinco años de haberse iniciado la pesquería, las autoridades declararon a la especie en riesgo poblacional y prohibieron su captura. Otro problema que agrava la situación del recurso pepino, es la pesca furtiva que pone en riesgo a las poblaciones al no respetarse las medidas regulatorias. En México solo la especie de pepino de mar *I. fuscus* se encuentra dentro de la NOM-059-ECOL-1994, bajo protección especial (Diario Oficial de la Federación del 22 de marzo del 2000). Sin embargo, para otras especies, el Instituto Nacional de la Pesca considera al pepino como un recurso potencial de aprovechamiento (Rodríguez-Gil *et al.*, 2007) y Yucatán es uno de los Estados en los que el recurso ha sido más depredado (Quezada, 2008), donde las pesquerías solamente cuentan con permisos de pesca de fomento.

#### Estado actual de la pesquería de pepino de mar en Yucatán

En el año 2001 se otorgaron permisos de pesca de fomento, pero a causa de los efectos de la marea roja no fue posible tener resultados pues las poblaciones de pepino fueron severamente afectadas (Rodríguez-Gil *et al.*, 2007).

Los primeros estudios sobre pepino de mar se enfocaron principalmente a reconocer la identidad taxonómica de las especies (Hernández, 1999). Posteriormente, en Quintana Roo, surgió el interés de analizar a las especies con

potencial económico (de la Fuente-Betancourt *et al.*, 2001). Más tarde, se publicó un catálogo de especies comercializables de pepino de mar (Zetina-Moguel *et al.*, 2002) en el que destacan tres especies: *Astichopus multifidus*, *Isostichopus badionotus* y *Holoturia floridana*. Las primeras estimaciones de biomasa para dichas especies se realizaron en las costas de Progreso y San Felipe (Zetina-Moguel *et al.*, 2003). En 2006, el Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) de Yucalpetén llevó a cabo una prospección a lo largo de la costa del estado de Yucatán para conocer la distribución y abundancia de cada especie (Cervera-Cervera *et al.*, 2008; Rodríguez-Gil *et al.*, 2007).

### 3. Planteamiento del problema

En el curso de la última década se ha producido en Yucatán una alta tasa de explotación del recurso pepino de mar, lo que ha traído como consecuencia que sus poblaciones se hayan visto reducidas. Esto ha sido ocasionado principalmente por el aumento de la demanda y la falta de conocimiento sobre su biología, previo a su explotación comercial, lo que ha dado como resultado el mal manejo y control de su pesquería. La lenta movilidad del pepino de mar lo hace vulnerable a la pesca y, por ende, a la sobrepesca. De acuerdo con la FAO (2004) y en virtud de que las poblaciones presentan una distribución agregada, el efecto potencial más serio para la pesca de pepino de mar es la reducción de los stocks desovantes y del reclutamiento. En el caso particular de la especie *Isostichopus badionotus*, uno de los aspectos sobre los que se carece de información es el de la alimentación, aspecto que se ha revelado crítico en los intentos que se han conducido por cultivarla bajo condiciones controladas, de ahí que conocer sus preferencias alimentarias en el medio natural resulte crucial.

### 4. Justificación

El estudio de la morfometría del tubo digestivo y del contenido intestinal del pepino de mar *Isostichopus badionotus*, se justifica en razón de la fragilidad poblacional del recurso, de la necesidad de incrementar el conocimiento sobre su biología básica, y de traducir este conocimiento en mejores prácticas para el aprovechamiento de este recurso en su hábitat natural y en condiciones de cultivo.

### 5. Hipótesis

Existe una relación entre la morfometría del tubo digestivo (longitud, anchura, área y volumen), la talla corporal (longitud total, anchura máxima y peso húmedo) y el contenido intestinal del pepino de mar *Isostichopus badionotus* del poniente del estado de Yucatán (localidades Celestún, Sisal y Progreso). Esto es, la longitud del tubo digestivo es directamente proporcional a la talla corporal y por lo tanto el contenido intestinal es mayor.

## 6. Objetivos

### 6.1 Objetivo General

Determinar si existe relación en la morfometría del tubo digestivo, la talla corporal y el contenido intestinal del pepino de mar *Isostichopus badionotus* de las localidades Celestún, Sisal y Progreso, Yucatán.

### 6.2 Objetivos particulares

1. Determinar longitud total, anchura máxima y peso húmedo del pepino de mar *Isostichopus badionotus*.
2. Determinar la longitud, anchura, área, volumen y peso húmedo del tubo digestivo del pepino de mar.
3. Identificar los componentes alimenticios contenidos en el intestino de los individuos de pepino de mar colectados en las localidades Celestún, Sisal y Progreso, Yucatán.
4. Establecer si existe relación entre la morfometría del tubo digestivo, talla corporal y contenido intestinal del pepino de mar en las tres localidades.

## 7. Métodos

### 7.1 Área de estudio

El área de estudio comprendió las localidades Celestún ( $20^{\circ}51'40.38''$  N,  $90^{\circ}24'22.20''$  O), Sisal ( $21^{\circ}09'57.01''$  N,  $90^{\circ}01'49.33''$  O) y Progreso ( $21^{\circ}17'41.02''$  N,  $89^{\circ}43'37.83''$  O), al poniente del estado de Yucatán (Figura 1). En esta área se presentan tres épocas climáticas: secas (marzo a mayo), lluvias (junio a octubre) y nortes (noviembre a febrero) (Ramírez, 1992; Herrera-Silveira & Ramírez-Ramírez, 1996). La época de secas se caracteriza por baja precipitación pluvial ( $0-50$  mm  $\text{mes}^{-1}$ ), mientras que lluvias registran más de  $500$  mm  $\text{mes}^{-1}$ . Ambas épocas climáticas presentan por lo general vientos del sureste  $<15$  km  $\text{h}^{-1}$  aunque en lluvias, en especial entre agosto y octubre, el área es afectada por tormentas tropicales y huracanes. La época de nortes se caracteriza por fuertes vientos del norte ( $>80$  km  $\text{h}^{-1}$ ), poca lluvia ( $20-60$  mm  $\text{mes}^{-1}$ ) y relativa baja temperatura (promedio  $22^{\circ}\text{C}$ ), producto de la acción de masas de aire de baja presión provenientes del norte (SARH, 1989). El presente estudio se basó en una muestra poblacional obtenida durante el mes de septiembre 2009, representativa de la época de lluvias.

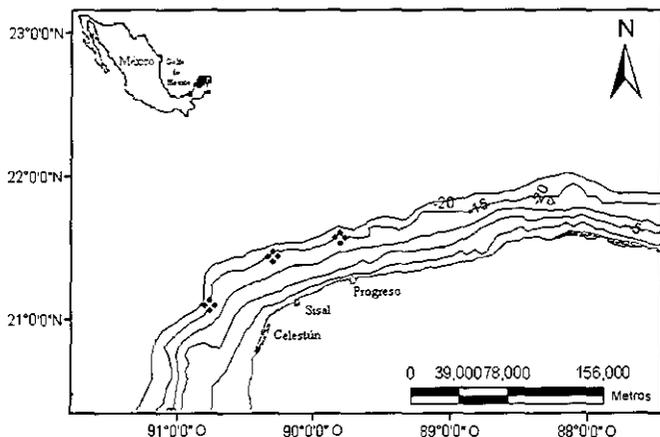


Fig. 1. Área de estudio. ❖, los sitios de colecta se ubicaron entre las isobatas 10 y 20 m.

## 7.2 Diseño de muestreo y colecta

En cada una de las localidades se ubicaron 4 sitios de muestreo entre las isobatas 10 y 20 m, generando un diseño de muestreo de 3 localidades x 4 (Figura 2). En cada uno de estos, los individuos se colectaron por medio de buceo SCUBA durante una hora, dividida en 3 periodos de 15 min; cada periodo se consideró como una repetición, resultando 3 repeticiones por inmersión por sitio (muestreo al azar).

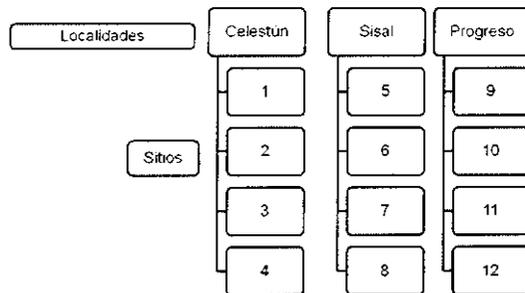


Fig. 2. Diseño de muestreo para la colecta de individuos de pepino de mar. Localidades y sitios de colecta, Celestún 1...4, Sisal 5...8 y Progreso 9...12.

## 7.3 Trabajo de campo

Los individuos colectados fueron mantenidos en contenedores con hielo y 24 g de  $MgCl_2$  por cada 10 litros de agua de mar, con el propósito de relajarlos previo a las biometrías. A cada individuo se le registró: longitud total dorsal, anchura máxima y peso húmedo total (PT). Finalmente se colocó individualmente en bolsas de plástico y congeló para su disección posterior.

## 7.4 Trabajo de laboratorio

En el laboratorio, los individuos fueron fijados en formol al 4% en agua de mar y, 2 días después, preservados en alcohol al 70%. De cada individuo se registró: longitud total, peso húmedo y anchura máxima, posteriormente, fue disecado para separar el tracto digestivo del resto del cuerpo (Conand, 1981). Así como, al tracto

digestivo se le registró la longitud, anchura, área y volumen, el cual fue preservado en alcohol al 70%.

Se analizó la totalidad del tracto digestivo para evitar inconsistencias relacionadas con el grado de digestión diferencial de los componentes alimenticios en función del segmento del tracto examinado (Hyslop, 1980). Se pesaron, contabilizaron e identificaron los componentes florísticos y faunísticos presentes en el contenido intestinal a grandes grupos taxonómicos, mediante el empleo de un microscopio estereoscópico Leica ZOOM 2000 y de bibliografía especializada (Wolfgang, 1986; Brusca, 1990; Higgins & Hjalmar 1988) y, para la identificación de microalgas y algas (Foged, 1984; Littler & Littler, 2009). El material fue preservado en alcohol en frascos de plástico de 40 ml y tubos Eppendorf de 1.5 ml. Posteriormente se realizó un conteo de microalgas presentes en el detrito, utilizando un contador Compass No. 2 de 4 dígitos y una celda Palmer de 0.50 ml para determinar su abundancia en el tubo digestivo (Lara *et al.*, 1996).

Análisis de contenido intestinal - El análisis cuantitativo de los componentes alimenticios en la dieta se realizó según los métodos:

1. Frecuencia de Ocurrencia (FO) consiste en contar el número de veces que aparece un componente determinado en el contenido intestinal y expresarlo como porcentaje del número de intestinos analizados (Tresierra & Culquichicom, 1995, Hyslop, 1980), como se muestra en la expresión siguiente:

$$\%FO = \frac{n}{NE} \cdot 100$$

donde:

FO = Frecuencia de ocurrencia (en porcentaje)

n = Número de intestinos con cierto componente alimenticio

NE = Número total de intestinos analizados

Según este método, los componentes alimenticios son clasificados en tres categorías: a) preferenciales (FO > 50%), que caracterizan al régimen alimenticio;

b) secundarios (FO > 10% y < 50%), que son consumidos en cierta etapa de su desarrollo y son considerados como sustitutos de los anteriores cuando éstos faltan; y c) accidentales (FO < 10%), aquellos componentes alimenticios cuyo consumo es muy escaso o raro (Yáñez-Arancibia, 1975).

2. Porcentaje por Área (PA) es una modificación del método volumétrico, utilizado cuando el contenido intestinal está constituido por presas pequeñas y cuyo peso individual no es posible de registrar en una balanza analítica. El método consiste en distribuir uniformemente el contenido intestinal sobre una superficie milimétrica y estimar el área ocupada por éste como el 100%. El área total de cada componente alimenticio se representa como un porcentaje del área total de todos los componentes. Este método tiene la ventaja de poder aplicarse a todos los componentes alimenticios, incluyendo los más pequeños (Vega-Cendejas, 1990).

3. Gravimetría (G) se emplea para obtener información del peso del los componentes alimenticios. Cada tipo de componente es separado del contenido intestinal y su peso es registrado en una balanza. Los valores se expresan porcentualmente, el peso total del componente alimenticio en relación al peso total de todos los componentes alimenticios de la muestra.

$$G = \frac{p}{PT} \cdot 100$$

donde:

G= Gravimetría expresada en porcentaje

p= Peso (g) de un determinado componente alimenticio

PT= Peso (g) total de todos los componentes alimenticios

#### 7.5 Análisis de datos

Se realizaron regresiones entre los datos morfométricos del tubo digestivo y las biometrías del pepino de mar para determinar la relación entre la talla corporal del pepino (peso húmedo y longitud total) y la morfometría del tubo digestivo (longitud, peso, área y volumen), así como, correlaciones de Spearman para

evaluar la relación entre las biometrías del pepino de mar, la morfometría del tubo digestivo y el peso del contenido intestinal.

Estos análisis permitieron conocer de qué manera se relaciona la talla de los individuos con la morfometría del tubo digestivo y la cantidad del alimento ingerido, examinado a través del contenido intestinal de los pepinos colectados en las tres localidades. Posteriormente, se realizaron gráficas para observar la cantidad de alimento ingerido con respecto a la talla corporal o el peso húmedo del pepino de mar.

Finalmente y dado que los datos obtenidos no cumplen con la normalidad (Cuadro 1) se recurrió a la estadística no paramétrica para hacer los análisis correspondientes, por lo tanto, se elaboró una matriz con las medianas de la biomasa (peso húmedo) de los componentes alimenticios (detrito, algas calcáreas, moluscos y otros) por sitio de muestreo (4 sitios por localidad) (Cuadro 2, en las filas se presentan los componentes alimenticios y en las columnas los sitios de muestreo) y se presenta con fines de ilustración en la Figura 3.

Cuadro 1. Prueba de Kolmogorov para bondad de ajuste

Variable	Ajuste	media	varianza	n	Estadístico	
					D	p-valor
Detrito	Normal(0,1)	4.1	4.24	11	0.97	<0.0001
Algas calcáreas	Normal(0,1)	0.13	0.04	11	0.5	0.0082
Moluscos	Normal(0,1)	0.02	4.50E-04	11	0.5	0.0082
Otros	Normal(0,1)	0.01	5.60E-05	11	0.5	0.0082

Cuadro 2. Matriz de componentes alimenticios por individuo en gramos (n=4) y sitio de muestreo (1-12): 1...4, Celestún; 5...8, Sisal; 9...12, Progreso.

Componente alimenticio	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Detrito	8.31g	5.42g	5.94g	1.82g	3.75g	4.08g	2.20g	3.33g	2.19g	2.24g	5.83g
Al as calcáreas	0.65g	0.12g	0.04g	0.10g	0.10g	0.34g	0	0.03g	0.02g	0	0.01g
Moluscos	0.02g	0.06g	0.01g	0.02g	0	0	0	0.02g	0	0	0.05g
Otros	0.02g	0	0.01g	0.01g	0	0	0	0	0	0	0

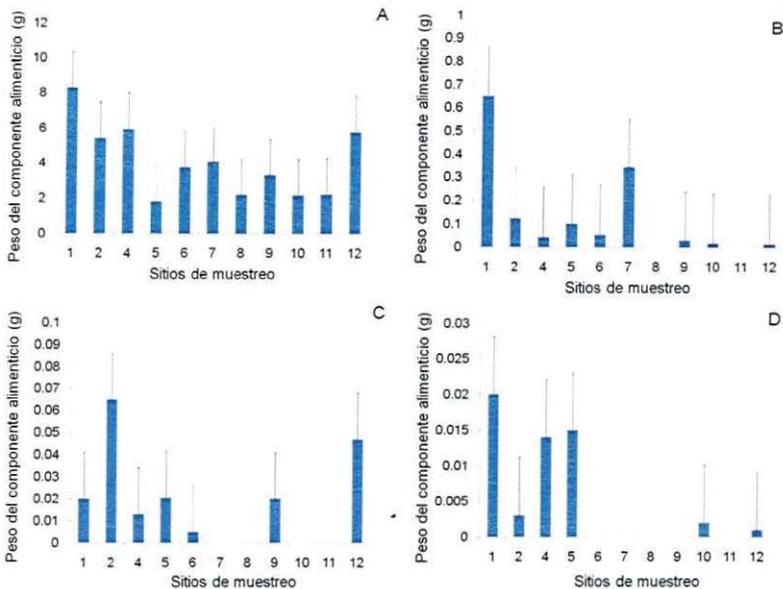


Fig. 3. Mediana y desviación estándar del peso de los componentes alimenticios por sitio de muestreo (1-12): 1...4, Celestún; 5...8, Sisal; 9...12, Progreso. A) Detrito; B) Algas calcáreas; D) Moluscos; E) Otros.

Posteriormente, se realizó el análisis de similitud (ANOSIM) para determinar posibles diferencias entre localidades, así como un análisis multidimensional de agrupamiento jerárquico (CLUSTER) para mostrar las localidades más afines. Se construyó una matriz de similitud utilizando el método de ordenamiento de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) (Penchaszadeh *et al.*, 2004) para determinar la afinidad de los componentes alimenticios entre localidades y, por último, se llevó a cabo el análisis de porcentaje de similitud (SIMPER) para cuantificar la contribución de los componentes alimenticios entre localidades (Clarke & Warwick, 2001). Todos los análisis se realizaron con ayuda del programa Primer v.6 (Clarke & Gorley, 2006).

## 8. Resultados

La muestra consistió de 92 individuos de *Isostichopus badionotus*, de los cuales 37 se colectaron en Celestún, 25 en Sisal y 30 en Progreso. Los datos de longitud total (talla corporal), peso húmedo y longitud del tubo digestivo, por localidad, se presentan en el Cuadro 3 y 4.

Cuadro 3. Longitud total (talla), peso húmedo del pepino de mar *I. badionotus*.

	Longitud total (cm)	n	Promedio	D.E	Peso húmedo (g)
Celestún	12-17	11	15.4	1.5	57 – 192
	17.1-22	18	19.6	1.1	146 – 410
	22.1-27	6	23.8	1.2	280 – 360
	27.1-32	2	28.4	0.5	510 – 540
Sisal	12-17	3	14.8	1.6	49 – 168
	17.1-22	15	19.8	1.1	117 – 286
	22.1-27	7	24.1	1.2	263 – 450
Progreso	12-17	4	15.6	0.9	57 – 117
	17.1-22	10	20.1	0.8	161 – 249
	22.1-27	13	23.6	0.9	177 – 400
	27.1-32	3	28.8	1.1	329 – 475

Cuadro 4. Talla corporal (longitud total), longitud, área y volumen del tubo digestivo del pepino de mar *I. badionotus*.

	Talla corporal (cm)	n	Promedio	D.E	Longitud tubo digestivo (cm)	Ancho tubo digestivo (cm)	Área tubo digestivo (cm <sup>2</sup> )
Celestún	12-17	11	15.4	1.5	8.5 – 40	0.4-1.6	32.1-124.4
	17.1-22	18	19.6	1.1	9.5 - 54.3	0.4-2.4	36.9-236.3
	22.1-27	6	23.8	1.2	36 – 68	0.4-1.6	47.3-220.8
	27-32	2	28.4	0.5	78 – 65	0.6	78.2-93.8
Sisal	12-17	3	14.8	1.6	20.5 - 39.4	0.6-1	41.6-57.2
	17.1-22	15	19.8	1.1	9.5 – 64	0.4-1.4	24.9-135.3
	22.1-27	7	24.1	1.2	10 – 84	0.6-1	53-168.6
Progreso	12-17	4	15.6	0.9	8 – 26	0.6-1.2	5-69.3
	17.1-22	10	20.1	0.8	10.5 – 54	0.6-1	43.4-88.6
	22.1-27	13	23.6	0.9	11.5 – 62	0.6-1.2	44.4-149.7
	27.1-32	3	28.8	1.1	14 – 55	0.8-1.2	94.6-132.9

Del los individuos colectados, en Celestún un 43% presentaron tubos digestivos llenos en tanto que, en Sisal y Progreso fue del 60% (Figura 4).

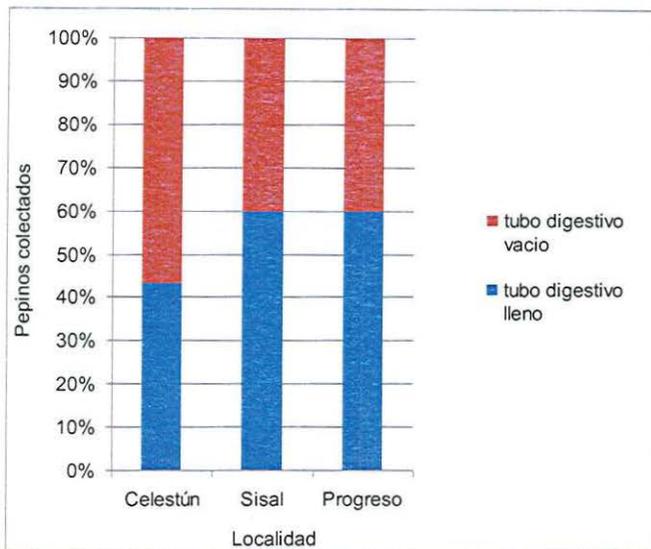


Fig. 4. Porcentaje de pepinos con tubo digestivo lleno y vacío por localidad.

Se enuncian a continuación, por localidad y método empleado, los resultados del análisis cuantitativo de los componentes alimenticios en la dieta de los individuos examinados, con excepción de aquellos que presentaron el tubo digestivo vacío (Cuadro 5). El contenido intestinal estuvo formado por 5 componentes alimenticios: microalgas, algas calcáreas, moluscos, detrito y otros (componentes alimenticios encontrados de manera ocasional).

Dos componentes alimenticios dominaron equitativamente en las tres localidades en términos de Frecuencia de Ocurrencia (FO): las microalgas y el detrito. El detrito presentó un Porcentaje de Área (PA) y Gravimetría (G) mayor, variando de 83.9% a 94.4% y de 88.5% a 94.9% respectivamente. Para el caso del conteo de microalgas, Sisal presentó una mayor abundancia de 18,704 ±4790.

Cuadro 5. Contenido intestinal de *Isostichopus badionotus* por localidad. F= frecuencia, FO= frecuencia de ocurrencia, PA= porcentaje del área, G= Gravimetría.

Celestún

Componente Alimenticio	N	FO (%)	PA (%)	G (%)
Algas calcáreas	13	86.7	5.4	3.0
Detrito	15	100	83.9	88.5
Microalgas	15	100	0.0	0.0
Moluscos	14	93.3	10.1	8.5
Otros	8	53.3	0.6	0.1
Total	65		100	100

Sisal

Componente Alimenticio	N	FO (%)	PA (%)	G (%)
Algas calcáreas	13	81.3	5.3	7.1
Detrito	16	100	94.4	92.8
Microalgas	16	100	0.0	0.0
Moluscos	6	37.5	0.2	0.1
Otros	3	18.8	0.1	0.0
Total	54		100	100

Cuadro 6. Análisis de la varianza no paramétrica por Kruskal –Wallis (ANAVA) de microalgas

Variable	Localidad	n	Promedio	D.E.	Mediana	gl	H	p
Microalgas	Celestún	15	9446	3917	10353	2	22.66	<0.0001
	Sísal	15	18076	4791	16028			
	Progreso	18	12861	4005	13031.5			

### 8.1 Morfometría del tubo digestivo y talla corporal

Las regresiones que implicaron a la morfometría del tubo digestivo mostraron que existe una relación significativa y positiva, mostrando una  $R^2$  de 0.5 a 0.77. Así tenemos que, entre el peso húmedo y la longitud del tubo digestivo obtuvo una  $R^2=0.70$  (Figura 6A); la talla corporal y su peso húmedo  $R^2 = 0.77$  (Figura 6B); talla corporal y la longitud del tubo digestivo  $R^2 = 0.50$  (Figura 6C) y, por último, el peso húmedo y volumen del tubo digestivo  $R^2 = 0.69$  (Figura 6D).

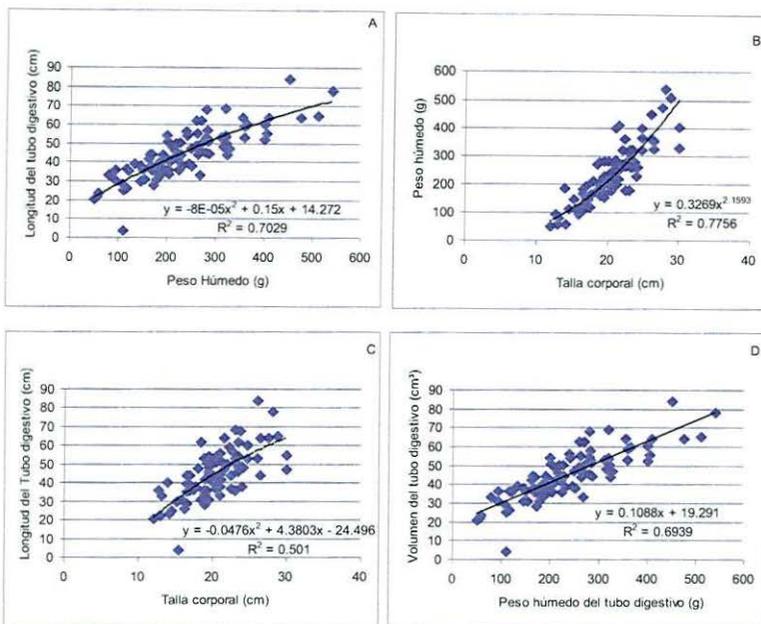


Fig. 6. Relación entre de la morfometría del tubo digestivo y la biometría del pepino de mar. A) Peso húmedo vs. longitud del tubo digestivo; B) Longitud total del pepino vs. el peso húmedo del pepino; C) Longitud total del pepino vs. la longitud del tubo digestivo; D) Peso húmedo del pepino vs. el volumen del tubo digestivo.

Los resultados de las correlaciones de Spearman mostraron para los pares de variables los valores siguientes: Longitud, Anchura y Peso húmedo entre la longitud del intestino 0.72, 0.78 y 0.84, respectivamente. Las correlaciones de la biometrías del pepino de mar con respecto al volumen del intestino fue de 0.71, 0.78 y 0.84 y, finalmente, las correlaciones entre la anchura y el área del tubo digestivo de 0.52 (Cuadro 7), cabe señalar que todos los resultados fueron altamente significativos ( $p < 0.05$ ).

Cuadro 7. Correlaciones de Spearman de las biometrías de la especie *Isostichopus badionotus* con relación a su talla corporal. Se representa en las columnas las biometrías del pepino de mar y en las filas se presenta la morfometría del tubo digestivo

	Pepino de mar			Valor de F	p
	Longitud (cm)	Anchura (cm)	Peso húmedo (g)		
Longitud tubo digestivo (cm)	0.72	0.78	0.84	F92,2=0,267	0.01
Anchura tubo digestivo (cm)	-0.09	0.11	0.03	F92,2=0,267	0.01
Volumen tubo digestivo (cm <sup>3</sup> )	0.71	0.78	0.84	F92,2=0,267	0.01
Área tubo digestivo (cm <sup>2</sup> )	0.35	0.52	0.5	F92,2=0,267	0.01

Respecto a la talla de los individuos con la longitud de sus tubos digestivos, de manera general se observó que existe una relación positiva, esto es, que la longitud del tubo digestivo es directamente proporcional a la talla corporal y por lo tanto el contenido intestinal es mayor, aunque en algunos casos, se presentaron tubos digestivos de menor longitud con respecto a la talla de los individuos (Figura 7). El Cuadro 8 muestra la varianza de dicha relación, y se obtuvo una  $p$  de 0.0003, que de acuerdo con el valor de la prueba estadística de Kruskal-Wallis ( $H$ ) de 18.63, existen diferencias significativas entre la talla corporal y la longitud del tubo digestivo del pepino de mar.

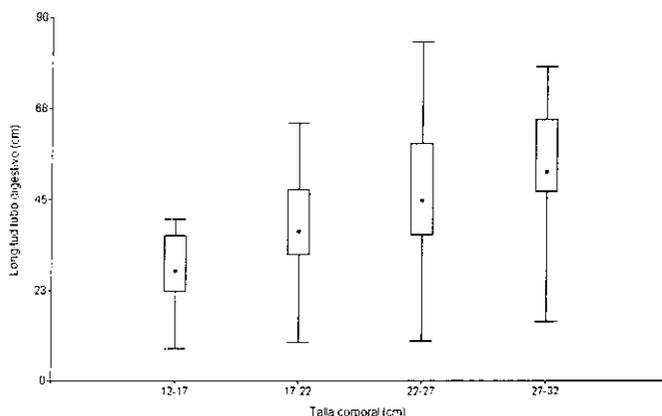


Fig. 7. Longitud del tubo digestivo con relación a la talla de *Isostichopus badionotus*, mostrando la longitud mínima, máxima y el promedio por cada intervalo de talla.

Cuadro 8. Análisis de la varianza no paramétrica por Kruskal –Wallis (ANAVA) para la relación entre la talla corporal y la longitud del tubo digestivo.

Variable	Intervalos	n	D.E.	Medianas	gl	$H$	$p$
Longitud del intestino	12-17	18	10.54	29.25	3	18.63	0.0003
	17-22	45	15.54	39			
	22-27	24	20.29	48.5			
	27-32	5	24.1	55			

## 8.2 Contenido intestinal y talla corporal

Para apreciar las preferencias alimenticias de los individuos por clase de talla y de peso, se presenta la composición del tubo digestivo por componente alimenticio y localidad (Figuras 8, 9).

En la Figura 8 se observa la preferencia alimenticia de *I. badionotus* por el detrito (materia orgánica y microalgas), aunque en Celestún y Progreso los individuos de 17-22 cm mostraron un 18% de consumo de moluscos (*Caecum pulchellum*) con respecto a individuos de otras clases de talla. En el caso de Sisal, de 5 a 10% fue el consumo de algas calcáreas (*Hallimeda incrassata* y *H. opuntia*), además del detrito en todas las clases de talla. De igual modo, se observó que en las localidades de Sisal y Progreso hubo variaciones (90% a 100%) en el consumo del detrito respecto a la talla corporal de *I. badionotus*.

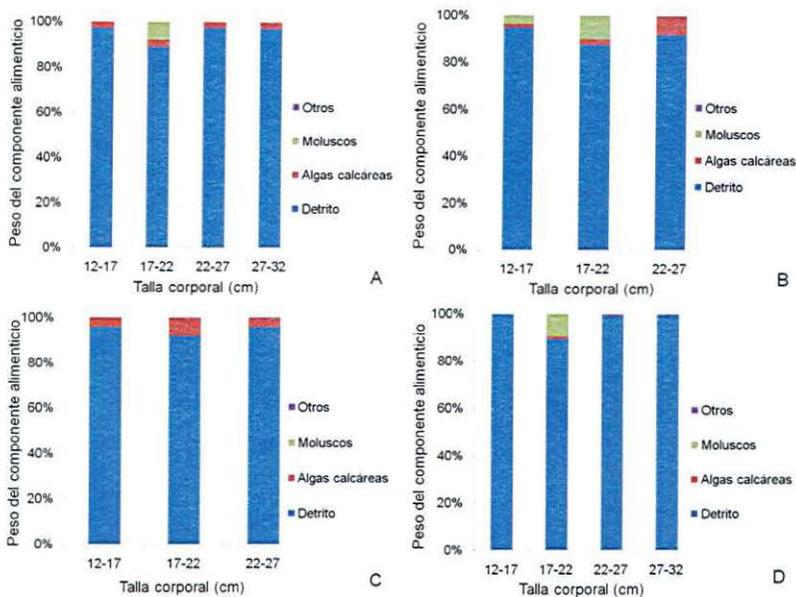


Fig. 8. Preferencias alimenticias de *I. badionotus* por talla corporal y peso del componente alimenticio. A) Tres localidades integradas; B) Celestún; C) Sisal y D) Progreso.

La Figura 9 muestra la preferencia alimenticia de la especie por el detrito (materia orgánica y microalgas); sin embargo, en el contenido intestinal de los individuos colectados en Celestún y Progreso, en un intervalo de peso entre 190-240 g, se constató que de un 23% a 32% fue el consumo de moluscos. Las algas calcáreas (*Hallimeda incrassata* y *H. opuntia*) se encontraron presentes en Celestún y Sisal, pero en menor cantidad (3% a 12%).

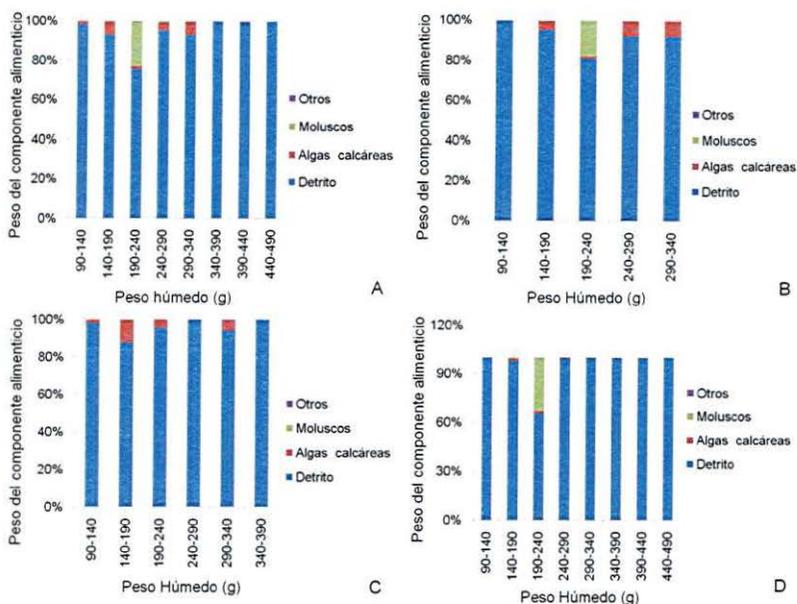


Fig. 9. Preferencias alimenticias de *I. badionotus* por peso húmedo y peso de los componentes alimenticios. A) Tres localidades integradas; B) Celestún; C) Sisal y D) Progreso.

Los resultados del análisis de similitud (ANOSIM) aplicado a la matriz de componentes alimenticios (Cuadro 2) por localidad, confirmaron que no existen diferencias significativas entre las localidades con los diferentes componente alimenticios de *Isostichopus badionotus* mostrando una R (similitud) de -0.1 y 0.4 y un nivel de significancia 8.6% (Cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis de similitud del peso húmedo de los componentes alimenticios por localidad.

Localidad	R	Nivel de significancia (%)
Celestún, Sisal	0.4	8.6
Celestún, Progreso	0.4	8.6
Sisal, Progreso	-0.1	68.6

De acuerdo con el análisis SIMPER (porcentaje de similitud), las tres localidades presentaron al detrito como el componente alimenticio más abundante, siendo su

abundancia promedio (AP) de 2.5 en Celestún; 1.7 en Sisal y 1.8 en Progreso, así como, su porcentaje de contribución (%C) de 83.9% en Celestún , 91.9% en Sisal y 95% en Progreso. En el caso de Celestún, las algas calcáreas también estuvieron presentes aunque su AP y su %C fueron menores, 0.46 y 9.06% respectivamente (Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis de porcentaje de similitud (SIMPER) para cuantificar la contribución de los componentes alimenticios en las localidades. SP, similitud promedio de cada localidad; AP, abundancia promedio; %C, porcentaje de contribución; % Acum, porcentaje acumulado.

	AP	%C	%Acum
Celestún (SP)= 86.3)			
Detrito	2.6	83.9	83.9
Algas calcáreas	0.5	9.1	93.9
Sisal (SP= 78.9)			
Detrito	1.7	91.9	91.9
Progreso (SP= 81.5)			
Detrito	1.8	95.1	95.1

De acuerdo con el análisis de agrupamiento se conformaron dos grupos, en los cuales se representó la similitud de los sitios de muestreo y el peso de los componentes alimenticios; es decir, los sitios que pertenecen a Celestún se separan de los sitios de Sisal y Progreso. Esto debido a que el peso de los componentes es más homogéneo en estas dos últimas localidades (Figura 10).

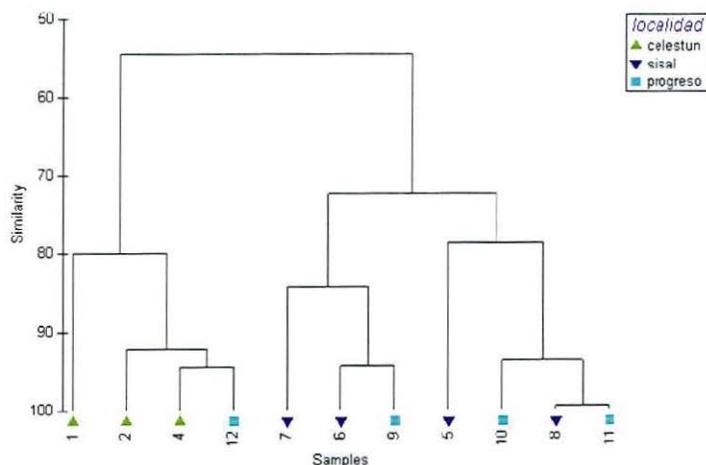


Fig. 10. Análisis de Agrupamiento (CLUSTER). 1...4, Celestún; 5...8, Sisal; 9...12, Progreso.

Así mismo, el resultado obtenido con el NMDS permitió corroborar el análisis anterior al registrar los mismos grupos que presentaron una similitud de 75%, y una magnitud de estrés de 0.03 (Figura 11).

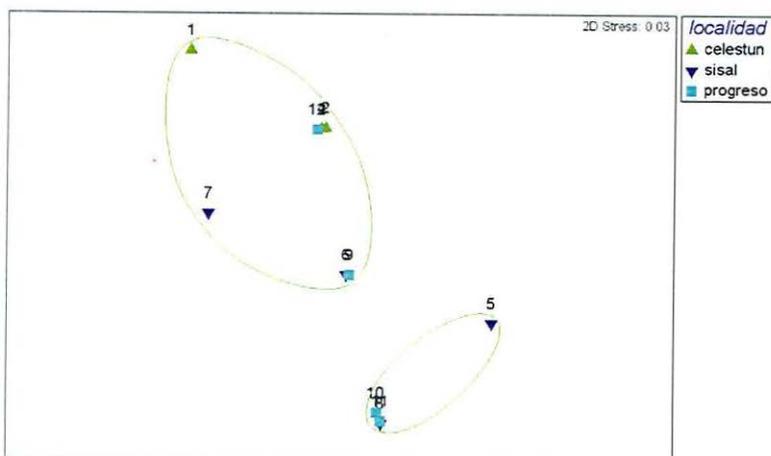


Fig. 11. Escalamiento multidimensional (MDS). 1...4, Celestún; 5...8, Sisal; 9...12, Progreso.

Las correlaciones de Spearman entre las biometrías del pepino de mar y el contenido intestinal mostraron que no existe relación entre las variables (Cuadro 11).

Cuadro 11. Correlaciones de Spearman de las biometrías de la especie con relación al peso del contenido intestinal. Se representa en las columnas las biometrías del pepino de mar y en las filas se presenta la morfometría del tubo digestivo.

	Pepino de mar			Valor de F	p
	Longitud (cm)	Anchura (cm)	Peso húmedo(g)		
detritus	-0.11	0.07	0.08	F37,2=0.325	0.05
algas calcáreas	-0.08	-0.03	-0.04	F49,4=0.273	0.05
moluscos	-0.1	0.08	-0.02	F28,1=0.367	0.05
otros	0.1	0.24	0.09	F18,1=0.456	0.05

## 9. DISCUSIÓN

Los análisis realizados a *Isostichopus badionotus* mostraron un importante consumo de detrito y microalgas, seguido de algas calcáreas y moluscos así como otros grupos escasamente representados. En estudios conducidos en otras localidades sobre el contenido intestinal de pepinos de mar, se han observado los mismos componentes alimenticios con divergencias en la abundancia de ciertos componentes presentes; así por ejemplo, Sambrano *et al.* (1990) reportan una importante presencia de moluscos, y escasez de macroalgas para *I. badionotus* y *Holothuria mexicana*, así mismo, Ruiz (2007) encontró que en el caso de microalgas y detrito existe un incremento positivo con relación al tamaño corporal de los individuos de *Athyonidium chilensis*, caso similar, ocurrió con la especie *Isostichopus badionotus* en el cual se observó que el detrito y las microalgas fueron más abundantes en el contenido intestinal, aunque, esto no dependía de la talla corporal del pepino de mar. Otro trabajo relevante sobre el contenido intestinal es el de Baskar (1994) realizado con *Holothuria scabra* donde reporta la presencia de los mismos componentes encontrados en este estudio aunque no especifica la proporción en que estos se encontraron.

El hábitat es un factor importante ya que puede limitar tanto el tipo y la forma de alimentación como la locomoción de los pepinos de mar. Durante la colecta *I. badionotus* se encontró en ambientes donde existe proliferación de algas calcáreas, aunque Sambrano *et al.* (1990) han reportado la presencia de esta especie en praderas de *Thalassia*. Por otro lado, Sloan & von Bodungen (1980) reportaron que se le puede localizar en zonas de *Cladophora prolifera*. Ambos autores también mencionaron que los juveniles fueron hallados en grietas o debajo de grandes rocas.

En el caso de *I. badionotus* se encontró a los juveniles en ambientes rocosos principalmente dentro de grietas y debajo de rocas y, a los adultos preferentemente en zonas arenosas y cubiertas por algas como *Hallimeda*, *Padina* y *Udotea* en mayor medida. Slater & Jeffs (2010) han reportado para la especie *Australostichopus mollis* que el hábitat de los juveniles se diferencia del

de los adultos en términos de tipo de sustrato, alimento, disponibilidad de alimento y profundidad, siendo los juveniles los que habitan generalmente a bajas profundidades, a menudo en asociación con sedimento que contiene un gran contenido de materia orgánica y tamaño de grano pequeño.

Por otro lado, Coulon & Jangoux (1993) señalaron que *Holothuria tubulosa* está asociada con *Posidonia oceánica* y que tanto la temperatura como la variación e intensidad de luz interviene en su alimentación, y Yingst (1982) encontró diferencia en el tipo de alimentación entre individuos pequeños y adultos en *Parastichopus parvimensis*. Sin embargo, para este estudio, en *I. badionotus* no se observó tal diferencia; ya que, tanto en individuos pequeños como adultos el contenido intestinal fue similar.

Para los resultados que se mostraron en el Cuadro 2 del contenido intestinal de *I. badionotus*, se observó que el detrito y las microalgas se presentaron en todos los tubos digestivos (FO 100%), caso similar, ha sido reportado en la especie *Athyonidium chilensis* (Ruiz *et al.*, 2007).

Si bien un análisis comparativo entre las localidades y la biomasa (peso húmedo) de los componentes alimenticios, permite observar si existe variación en la cantidad de alimento ingerido entre localidades, no existen trabajos que incluyan este tipo de análisis acerca del contenido intestinal en el pepino de mar, Varisco & Vinuesa (2007) ha demostrado que en especies detritívoras como el crustáceo *Munida gregaria* puede existir diferencias entre el consumo de alimento entre localidades caso que no fue encontrado en el pepino de mar *Isostichopus badionotus* ya que en este la cantidad de alimento ingerido fue homogéneo.

Por otro lado, los resultados obtenidos de los análisis de morfometría del tracto digestivo de *I. badionotus* se relacionaron positivamente con el peso corporal y el peso del contenido intestinal. De acuerdo con lo anterior, se infiere que los individuos de mayor tamaño tienen un intestino de mayor volumen y así podrían consumir y digerir mayor cantidad de alimento que los individuos de menor tamaño. Ruiz *et al.* (2007) sugieren que el crecimiento del tracto digestivo es isométrico con el incremento de la talla corporal. Por ello, individuos de mayor

talla pueden procesar mayor cantidad de alimento y/o ingerir alimento de menor valor nutricional.

Esto ha sido comúnmente documentado en estudios conducidos en peces del Golfo de México. Zarate-Hernández *et al.*, (2007) reportaron que el tipo de alimento ingerido es un factor importante para determinar la talla del intestino. En peces detritívoros el intestino es mucho mayor entre el 300% y 400% de la longitud total del pez que el cuerpo del pez; por consiguiente, individuos de mayor talla corporal tienen un intestino mucho mayor para ingerir y procesar más alimento.

## 10. CONCLUSIONES

Los pepinos colectados en el mes de Septiembre 2009 en las localidades de Celestún, Sisal y Progreso en el poniente del estado de Yucatán, fueron individuos de juveniles a adultos (12 - 32 cm), aunque los adultos pueden llegar a medir hasta los 45 cm de longitud.

El 60% de los pepinos de mar colectados presentaron tubos digestivos llenos, los factores que influyeron en la colecta de individuos con tubos digestivos vacíos fueron la hora de colecta y la evisceración que presentaron algunos ejemplares durante el muestreo.

La mayoría de los individuos colectados presentaron un tubo digestivo de mayor longitud respecto a su talla corporal. En cuanto a los organismos que presentaron tubos digestivos de menor longitud, fue dado a causa de la evisceración. Por lo que el crecimiento del tracto digestivo, en general, es isométrico con el incremento del tamaño corporal.

En el caso de las relaciones entre la morfometría del tubo digestivo y las biometrías del pepino de mar, se establece que ambas relaciones son directamente proporcionales. Así mismo, dada las observaciones en la variación del peso el contenido intestinal respecto a las comparaciones con la biometría del pepino de mar, se determina que el alimento ingerido no es proporcional a su talla corporal y peso húmedo. Concluyéndose de esta manera que, aunque la longitud del tubo digestivo aumenta, no necesariamente existe un mayor consumo de material orgánico.

Para esta época del año, los pepinos de mar de las localidades de Celestún, Sisal y Progreso presentan un contenido intestinal homogéneo presente en el tubo digestivo de *I. badionotus*.

Los resultados obtenidos por el contenido intestinal permiten concluir que esta especie consume una dieta compuesta principalmente de detrito (materia orgánica, microalgas y arena), moluscos (*Caecum pullchellum*) y algas calcáreas

(*Hallimeda incrassata* y *H. opuntia*) para lo cual, y como sucede con otras especies de pepinos de mar, poseen una flora bacteriana que degrada este tipo de alimento.

Dadas las conclusiones anteriores, se puede decir, que, la hipótesis propuesta se acepta parcialmente, ya que, la morfometría del tubo digestivo es directamente proporcional a la talla corporal del pepino de mar, pero, la cantidad de alimento ingerido no depende de esta relación.

Por otro lado la información obtenida sirve para aumentar los conocimientos sobre la biología básica de la especie y nociones para su cultivo.

## 11. Literatura citada.

- Bakus, G.J. 1973. *The biology and ecology of tropical holothurians*. En: O. A. Jones y R. Endean (eds) *Biology and geology of coral reefs*, vol. 2. Academic Press, New York.
- Baskar, B.K. 1994. Some observations on the biology of the holothurian *Holothuria (Metriatyta) scabra* (Jaeger). *Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute*, 46:39-43.
- Busca, R. 1990. *Invertebrates*. Sinauer Associates Inc, Sunderland.
- Calva, L. G. 2003. Hábitos alimenticios de algunos equinodermos Parte 2 Erizos de mar y pepino de mar. *ContactoS*, 47:54-63.
- Cervera-Cervera, K., D. E. de Anda-Fuentes, J. C. Espinoza-Méndez & R. Burgos-Rosas. 2008. Avances en el conocimiento de la distribución, abundancia y disponibilidad pesquera del recurso pepino de mar en el estado de Yucatán. *IV Foro Científico de Pesca Ribereña, Trabajo*, 05:11-12.
- Conand, C. 1981. Sexual cycle of three commercially important holothurian species (Echinodermata) from the Lagoon of New Caledonia. *Bulletin of Marine Science*, 31:523-543.
- Conand, C. 1989. *Les holothuries aspidochirotes du lagon de Nouvelle Calédonie: biologie, écologie et exploitation*. Études et Thèses, Paris.
- Coulon, P. & M. Jangoux. 1993. Feeding rate and sediment reworking by the holothuroid *Holothuria tubulosa* (Echinodermata) in a Mediterranean seagrass bed off Ischia Island, Italy. *Marine Ecology Progress Series*, 92: 201-204.
- Clarke, K.R., R. M. Warwick. 2001. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*, 2nd Edition. Primer-E Ltd, Plymouth.
- Clarke, K.R. & R. N. Gorley. 2006. *PRIMER v6: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E Ltd, Plymouth.
- de la Fuente-Betancourt, M.G., A. de Jesús-Navarrete, E. Sosa-Cordero & M. D. Herrero-Perezrul. 2001. Assesment of the sea cucumber (Echinodermata: Holothuroidea) as potencial fishery resource in Banco Chinchorro, Quintana Roo, México. *Bulletin of Marine Science*, 68:59-67.

- Diario Oficial de la Federación. 2000. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994, Que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección, publicada el 16 de mayo de 1994, Diario Oficial de la Federación del 22 de marzo de 2000, México.
- FAO. 2004. *Advances in sea cucumber aquaculture and management*. Fisheries Technical Paper No. 463. Rome.
- FAO. 2008. *Sea cucumbers a global review of fisheries and trade*. Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 516. Rome.
- Foged, N. 1984. *Freshwater and littoral diatoms from Cuba*. J Cramer, Germany
- Fundación NUESTROMAR. 2009. El pepino de mar está cerca de desaparecer en Galápagos.  
[http://www.nuestromar.org/noticias/ecologia\\_y\\_medioambiente9101\\_072007\\_el\\_pepino\\_de\\_mar\\_esta\\_cerca\\_de\\_desaparecer\\_en\\_galapagos](http://www.nuestromar.org/noticias/ecologia_y_medioambiente9101_072007_el_pepino_de_mar_esta_cerca_de_desaparecer_en_galapagos). Consultado: 31 de Marzo del 2010.
- Higgins, R. & T. Hjalmar. 1988. *Introduction to the study of meiofauna*. Smithsonian, Washington.
- Hendler, G. J., E. Miller, D. L. Pawson & P. M. Kier. 1995. *Sea stars, sea urchins, and allies. Echinoderms of florida and the caribbean*. Smithsonian Institution Press, Washington.
- Hernández, P.P. 1999. Pepinos de mar (Echinodermata: Holothuroidea) del estado de Quintana Roo, México, de la colección nacional de equinodermos del instituto de ciencias del mar y limnología. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias.
- Herrera-Silveira, J.A. & J. Ramírez-Ramírez. 1996. Effects of natural phenolic material (tannin) on phytoplankton growth. *Limnology and Oceanography*, 41:1018-1023.
- Hyslop, E.J. 1980. Stomach contents analysis: a review of methods and their application. *Journal of Fish Biology*, 17:411-429.
- Lalli, C.M. & T. R. Parsons. 1997. *Biological oceanography: an introduction*, 2nd Edition. The Open University, Oxford.

- Lara, M.A., J.L. Moreno-Ruiz & E. J. Amaro-Mauricio. 1996. *Fitoplancton. Conceptos básicos y técnicas de laboratorio*. U. Iztapalapa, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Littler, D.S. & M. M. Littler. 2009. *Caribbean reef plants*. Offshore Graphics, Inc., Washington.
- Liu, Y., S. Dong, X. Tian, F. Wang & Q. Gao. 2009. Effects of dietary sea mud and yellow soil on growth and energy budget of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Aquaculture*, 286:266-270.
- Medina-González, R., C. Zetina-Moguel, M. Comas-Bolío & R. Pat-Canul. 2004. Concentración de Cd, Cr, Cu y Pb en sedimentos y en tres especies de pepino de mar (clase holothuroidea) de las costas del Estado de Yucatán, México. *Ingeniería Revista Académica*, 8:7-19.
- Michio, K., K. Kengo, K. Yasunori, M. Hitoshi, Y. Takayuki, Y. Hideaki, S. Hiroshi. 2003. Effects of deposit feeder *Stichopus japonicus* on algal bloom and organic matter contents of bottom sediments of the enclosed sea. *Marine Pollution Bulletin*, 47:118-125.
- Morgan, A. & J. Archer. 1999. Overview: Aspects of sea cucumber industry research and development in the South Pacific. *SPC Beche de Mer Information Bulletin*, 12:15-17.
- Norma Oficial Mexicana. 1994. Determinación de las especies y subespecies de flora y fauna Silvestre terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección. NOM-059-ECOL-1994, Diario Oficial de la Federación, México.
- Penchaszadeh, P. G. Bigatti, P. Miloslavich. 2004. Feeding of *Pseuichinus magellanicus* (Philippi, 1857) (Echinoidea: Temnopleuridae) in the sw atlantic coast (Argentina). *Ophelia*, 58:91-99.
- Quezada, D. 2008. El pepino de mar su importancia bioeconómica. *INFOCAMPO Gaceta rural de Yucatán*, 2:11-12.
- Roberts, D. & C. Bryce. 1982. Further observations on tentacular feeding mechanisms in holothurians. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 59:151-163.

- Rodríguez-Gil, L. A., C. F. Reyes-Sosa, R. Alpizar-Carrillo & J. Tello-Cetina. 2007. Estimación de la abundancia poblacional y biomasa del pepino de mar para la asignación de cuota de pesca a la cooperativa pescadores de Sisal, en la costa del estado de Yucatán, México. Proceedings of the 60th Gulf and Caribbean Fisheries Institute.
- Ruiz, J.F., C. M. Ibañez & C. W. Caceres. 2007. Morfometría del tubo digestivo y alimentación del pepino de mar *Athyonidium chilensis* (Semper, 1868) (Equinodermata: Holothuroidea). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 42:269-274.
- Sambrano, A., H. Díaz & J. L. Conde. 1990. Caracterización de la ingesta en *Isostichopus badionotus* (Selenka) y *Holoturia mexicana* Ludwig (Equinodermata: Holothuroidea). *Caribbean Journal of Science*, 26:45-51.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1989. Datos climatológicos del norte de Yucatán. Reporte Annual
- Sibly, R. M. 1981. *Strategies in digestion and defecation*. Sinauer Assoc, Sunderland.
- Slater, M. & A. Carton. 2009. Effect of sea cucumber (*Australostichopus mollis*) grazing on coastal sediments impacted by mussel farm deposition. *Marine Pollution Bulletin*, 58:1123-1129.
- Slater, M.J. & A. J. Jeffs. 2010. Do benthic sediment characteristics explain the distribution of juveniles of the deposit-feeding sea cucumber *Australostichopus mollis*? *Journal of Sea Research*, 64:241-249.
- Sloan, N.A. & B. von Bodungen. 1980. Distribution and feeding of the sea cucumber *Isostichopus badionotus* in relation to shelter and sediment criteria of the Bermuda platform. *Marine Ecology Progress Series*, 2:257-26.
- Toral-Granda, V., A. Lovatelli & M. Vasconcellos. 2008. Sea cucumbers. A global review on fishery and trade. *SPC Beche de Mer Information Bulletin*, 28:4-6.
- Tresierra, A.E. & Z. G. Culquichicom. 1995. *Manual de biología pesquera*. Trujillo, México.
- Uthicke, S. & C. Conand. 2005. Local examples of beche-de-mer overfishing: an initial summary and request for information. *SPC Beche de Mer Information Bulletin*, 21:9-14.

- Varisco, M. & J. L. Vinuesa. 2007. La alimentación de *Munida gregaria* (Fabricius, 1793) (Crustacea: Anomura: Galatheidae) en fondos de pesca del Golfo San Jorge, Argentina. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 42:221-229.
- Vega-Cendejas, M.E. 1990. Interacción trófica entre dos bagres *Arius melanopus* (Agassiz, 1829) y *Arius felis* (Linnaeus, 1776) en las costas de Celestún Yucatán, México. *Anales del Instituto de Ciencias Del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 15:185-194.
- Wing, S., R. McLeod, K. Clark & R. Frew. 2008. Plasticity in the diet of two equinoderm species across an ecotone: microbial recycling of forest litter and bottom-up forcing of population structure. *Marine Ecology Progress Series*, 360:115-123.
- Wolfgang, S. 1986. *Marine fauna and flora de bermuda a systematic guide to the identification of marine organisms*. A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, New York.
- Yáñez-Arancibia, A. 1975. Estudios de peces en las lagunas costeras: nota científica. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 2:53-60.
- Yang, H., X. Yuan, Y. Zhou, Y. Mao, T. Zhang & Y. Liu. 2005. Effects of body size and water temperature on food consumption and growth in the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) with special reference to aestivation. *Aquaculture Research*, 36:1085-1092.
- Yingst, J. 1982. Factors Influencing rates of sediment ingestion by *Parastichopus parvimensis* (Clark), an epibenthic deposit-feeding holothurian. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 14:119-134.
- Zárate-Hernández, R., A. Aguirre-León, S. Ortiz-Burgos & M. Castillo-Rivera. 2007. Ecomorfología de peces estuarinos del Golfo de México. *ContactoS*, 66:12-20.
- Zetina-Moguel, C., G. Ríos, I. Hernández, M. Guevara, E. Ortiz & J. Pool. 2002. *Catálogo de especies de pepino de mar comercializables del estado de Yucatán*. Universidad Autónoma de Yucatán, México

Zetina-Moguel, C., V. Ríos, M. Koyoc, I. Hernández, K. Cervera, D. De Anda, P. Arceo, E. Ortiz & M. Guevara. 2003. Estimación de la biomasa de pepino de mar (*Astichopus multifidus*, *Isostichopus badionotus* y *Holothuria floridana*) en dos áreas de la costa de Yucatán entre octubre del 2000 y marzo del 2001. Proceedings of the 54th Gulf and Caribbean Fisheries Institute

TESIS/CUCBA