



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

**EVALUACIÓN DE LA INCLUSIÓN DE BIOFLOC EN LA
ALIMENTACIÓN DEL PEPINO DE MAR CAFÉ *Isostichopus*
badionotus EN CONDICIONES DE LABORATORIO.**

TESIS

Que presenta:

MARTHA YANELY CHABLÉ ALVARADO

Como requisito parcial para obtener el grado de:
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

Director de tesis:

Dr. MIGUEL ÁNGEL OLVERA NOVOA

Conkal, Yucatán, México
Mayo 2025



TecNM

DEDICATORIAS

A Dios por acompañarme y guiarme a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en momentos de debilidad, por brindarme una vida llena de perseverancia, experiencias y sabiduría.

A mi pequeña Sofía, no te imaginas cómo tu llegada cambió completamente mi vida, me llenaste de fuerza valentía y motivación, me has enseñado de muchas maneras a entender el amor, has sido una gran compañera, una excelente maestra, y me inspiras a ser mejor.

A mis padres, Marcial y Delquer por ser mi motor de vida con su gran amor, dedicación y valores inculcados, a quienes sin escatimar esfuerzo alguno me han dado oportunidad de tener una educación demostrando que a pesar de las adversidades siempre podemos salir adelante. Sobre todo, por ser un ejemplo para seguir.

A mis hermanos por ser parte importante y ser ejemplo de unidad familiar, Malaquías y Jaziel por apoyarme y aconsejarme, Rebeca y Eli, a pesar de la distancia siempre estuvieron al pendiente de todo demostrando su amor incondicional.

A mi segunda familia Gómez Chablé, por cuidarme y protegerme como una hija para ustedes, por darme abrigo durante mi estancia, estaré eternamente agradecida por todas sus atenciones.

A José Antonio por darme su apoyo incondicional, por estar siempre en las buenas y en las malas y por ser mi complemento en la vida.

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto Conacyt Problemas Nacionales “Bases biológicas y de manejo para la integración multitrófica del pepino de mar *Isostichopus badionotus* y macroalgas en sistemas de maricultivo comercial de corvina roja (*Sciaenops ocellatus*)” Clave PN 2015-1551, por darme la oportunidad y facilidad de desarrollar mi proyecto de tesis.

Al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) por el apoyo proporcionado como Auxiliar de Investigador SNI 3 del Dr. Miguel A. Olvera Novoa.

A mi director de tesis el Dr. Miguel Ángel Olvera Novoa por darme la oportunidad y confianza de realizar este proyecto, por su dedicación, conocimientos invaluable y sobre todo su gran paciencia para esperar a que este trabajo pudiera llegar a su fin.

A mi asesor interno, el Dr. Roberto Zamora Bustillos quiero expresar mi más sincero agradecimiento por la orientación y ayuda que me brindo para realizar el trabajo de tesis.

Al Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV – IPN - Unidad Mérida), institución de gran prestigio por brindarme el apoyo durante mi estancia.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por haberme brindado la oportunidad de recibir un apoyo económico durante la realización de este proyecto.

Al Laboratorio de Nutrición del Cinvestav dirigido por la Dra. Leticia Oliviera Castillo por permitirme trabajar en el laboratorio y al Químico Cesar Puerto Castillo por sus consejos, sugerencias con respecto a mis análisis y por darme su apoyo siempre.

A la Dra. Itzel Sánchez Tapia por introducirme al hermoso mundo del pepino de mar e invitarme a trabajar con su equipo.

A la Bióloga Itzelita por enseñarme a trabajar en la Estación Marina de Telchac y en el cepario de las microalgas, gracias por sus consejos, por ser una buena compañera de trabajo y gran amiga

A los técnicos de la Estación Marina en Telchac Puerto, Pedro y Gilmer por apoyarme alimentado y monitoreando a los organismos los días que no iba a la estación.

Resumen

Una alternativa de cultivo sostenible se encuentra en los cultivos de peces en sistemas Biofloc, en los cuales los nutrientes generados por el cultivo acuícola pueden ser reciclados y reutilizados continuamente. El pepino de mar (*Isostichopus badionotus*) es un equinodermo holoturoideo con hábitos alimenticios detritívoros. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del uso de la harina biofloc como alimento, en el crecimiento y la supervivencia de juveniles del pepino de mar *Isostichopus badionotus*. Para esto se realizó un estudio durante 60 días. Se utilizó un total de 84 juveniles con un peso promedio de 9.48 g divididos en 12 tanques. Se emplearon cuatro tratamientos: T1 (100% mezcla de harina de algas *Ulva* sp., *Sargassum* sp. y *Macrosystis* sp.), T2 (65% mezcla de harina de algas y 35% de biofloc), T3 (35% mezcla de la harina de algas y 65% de biofloc) y T4 (100% biofloc). Se realizó un total de 5 biometrías cada 15 día. Después de los 60 días se tomó 6 organismos por cada tratamiento para realizar análisis químicos. El tratamiento que obtuvo mayor ganancia en peso fue el T3:16.940 g y el menor T1: 11.298 g. La harina con más valor proteico es la de biofloc con un resultado de 34.7% y la harina de algas presentando un porcentaje de 8.7%, estos resultados sugieren que el uso de la harina de biofloc puede ser utilizada a un 65% en la dieta del pepino de mar.

Abstract

A sustainable farming alternative is found in fish farming in Biofloc systems, in which the nutrients generated by aquaculture farming can be continuously recycled and reused. The sea cucumber (*Isostichopus badionotus*) is a holothuroid echinoderm with detritivorous feeding habits. The aim of this study was to evaluate the effect of the use of biofloc flour as food on the growth and survival of juveniles of the sea cucumber *Isostichopus badionotus*. For this, a study was conducted for 60 days. A total of 84 juveniles with an average weight of 9.48 g were divided into 12 tanks. Four treatments were used: T1 (100% mixture of seaweed meal *Ulva* sp., *Sargassum* sp. and *Macrosystis* sp.), T2 (65% mixture of seaweed meal and 35% biofloc), T3 (35% mixture of seaweed meal and 65% biofloc) and T4 (100% biofloc). A total of 5 biometrics were performed every 15 days. After 60 days, 6 organisms were taken for each treatment for chemical analysis. The treatment that obtained the highest weight gain was T3: 16,940 g and the lowest T1: 11,298 g. The meal with the highest protein value is biofloc flour with a result of 34.7% and seaweed meal with a percentage of 8.7%, these results suggest that the use of biofloc meal can be used at 65% in the sea cucumber diet.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS	i
AGRADECIMIENTOS	ii
Resumen	iv
Abstract	v
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	6
Objetivo General	6
Objetivos Específicos	6
HIPÓTESIS	7
FUNDAMENTO TEÓRICO	8
Clasificación taxonómica (Deichman, 1963)	8
Nutrición	10
Ámbito ecológico	11
Ámbito socioeconómico	13
Tecnología Biofloc (BFT)	14
Ubicación del experimento	17
Periodo de estudio	17
Obtención del biofloc	17
Obtención de los juveniles	18
Sistema experimental	19
Alimentación	19
Biometrías	20
Análisis químicos	21
Determinación de Humedad	22
Determinación de Cenizas	22
Lípidos crudos	23
Proteínas	23
Diseño experimental	24
Tasa de crecimiento específico	25
Peso promedio inicial	26
Peso ganado	27
Peso promedio final	31

Análisis proximales	32
Composición de los alimentos y organismos	33
REFERENCIAS	36

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Esquema de alimentación.....	20
Tabla 2. Número de muestras.....	22
Tabla 3. Análisis de varianza Supervivencia.....	25
Tabla 4. Análisis de varianza Tasa de Crecimiento Especifico*.....	26
Tabla 5. Análisis de varianza Peso Promedio Inicial.	27
Tabla 6. Análisis de varianza Peso Ganado (%) *	28
Tabla 7. Análisis de varianza del Peso Ganado Individual	29
Tabla 8. Análisis de varianza Peso Promedio Final	32
Tabla 9. Resultados Análisis Proximales	33

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Expansión global del pepino de mar (Purcell et al., 2013)	2
<i>Figura 2. Pepino de mar Isostichopus badionotus</i>	9
Figura 3. Ciclo de vida del pepino de mar	10
Figura 4. Distribución de <i>I. badionotus</i> (Toral-Granda et al. 2013).....	13
Figura 5. Instalaciones de la Estación Marina del CINVESTAV y su ubicación geográfica	17
Figura 6. Biofloc seco sin moler	18
Figura 7. Juvenil de pepino de mar	18
Figura 8. Sistema experimental	19
Figura 9. A) Peso de juvenil, B) Medida dorsal, C) Medida ventral, D) Medidor multiparámetro HANNA HI 9829.	21
Figura 10. Tasa de crecimiento específico	26
Figura 11. Peso promedio inicial sin diferencias significativas.	27
Figura 12. Peso ganado por tratamiento.....	29
Figura 13. Peso ganado individual	30
Figura 14. Comportamiento del crecimiento de los juveniles del pepino de mar	31
Figura 15. Peso promedio final	32

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad, la pesca ha sido una fuente importante de alimentos, especialmente en aquellas comunidades que dependen de los recursos acuáticos como su principal fuente de proteína animal. Las poblaciones de recursos pesqueros necesitan ser administradas adecuadamente, a fin de mantener su contribución al bienestar nutricional, económico y social de la creciente poblacional mundial (FAO, 2011).

Aunque hoy en día se dispone en el mercado gran variedad de alimentos balanceados para especies acuícolas, principalmente para peces y crustáceos, se registra con frecuencia que estos alimentos no tienen el contenido nutritivo que las especies requieren para su crecimiento óptimo, principalmente en sus primeras etapas de vida.

El pepino de mar *Isostichopus badionotus* es un equinodermo holoturoideo que ha sido aprovechado por milenios en la cultura asiática gracias a sus propiedades farmacológicas, biológicas y por su exquisitez, pero esos usos y costumbres han causado un desequilibrio al sobreexplotar las poblaciones naturales (Anderson *et al.*, 2011).

Esta especie es un recurso de gran demanda internacional y su pesca representa una oportunidad importante de trabajo e ingresos para las comunidades de la zona costera, siendo frecuentemente la pesquería de exportación de mayor importancia económica en muchos países (Toral-Granda *et al.*, 2008).

Las zonas de pesca tradicionales para abastecer los mercados asiáticos se han visto agotadas y cada vez es más frecuente la expansión de esta actividad a nuevas y más distantes zonas de pesca. La pesca de pepino de mar ha sufrido una expansión geográfica, posteriormente muchas poblaciones se han agotado (Figura 1) la cual frecuentemente está acompañada de fuertes cambios

económicos, sociales y ambientales. En la actualidad, hay pesquerías de pepino de mar en la mayor parte del rango de distribución de este recurso, incluidas las partes remotas del Pacífico, las Islas Galápagos, Chile y Rusia (Toral-Granda *et al.*, 2008).

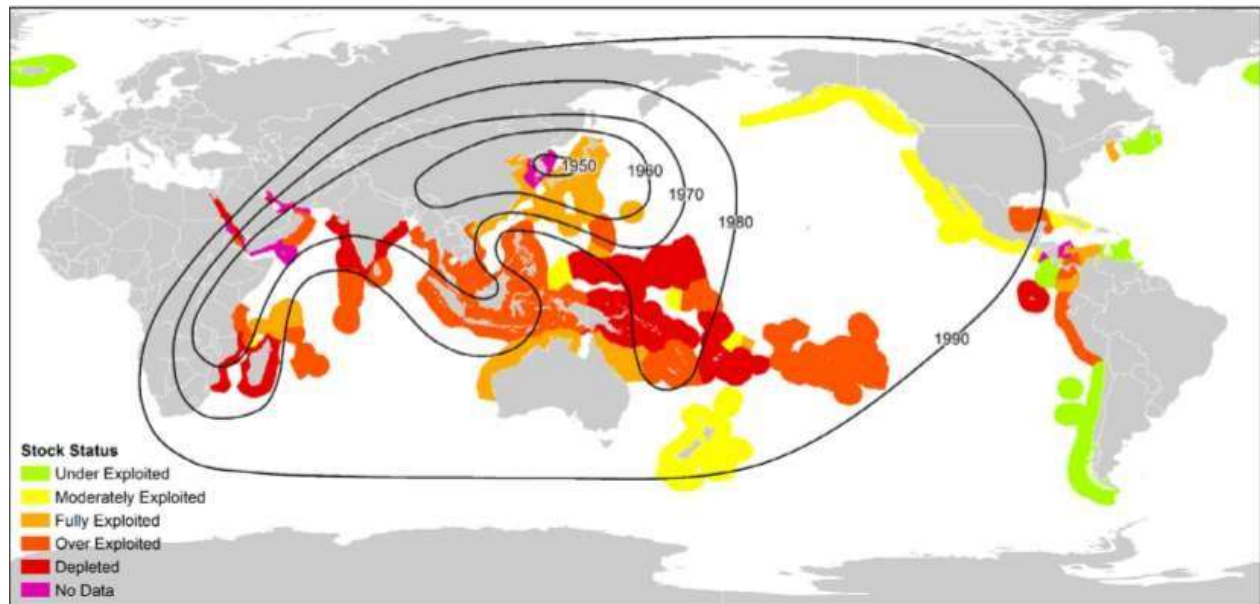


Figura 1. Expansión global del pepino de mar (Purcell *et al.*, 2013).

La demanda mundial del pepino de mar, ha incentivado el interés de los mexicanos en su extracción, procesamiento y comercialización, con el propósito de exportación. En México, la explotación de pepino de mar comenzó en Baja California Sur en 1988. Cinco años más tarde, debido a la sobreexplotación el pepino de mar en esta región se consideró en peligro de extinción (FAO, 1995).

En la península de Yucatán, ha surgido un gran interés por esta pesquería desde el año 2000 hasta el día de hoy. A partir del 2010 el pepino de mar ha sido fuertemente explotado por las pesquerías en pequeña escala, (López-Rocha *et al.* 2019) describe una disminución en la abundancia de *I. badionotus*, la pesca ilegal y la falta de cumplimiento de las medidas de gestión podrían ser las principales causas de la disminución de la población, esto es alarmante, dado que una vez abatidas, aún con el cierre de la pesca la recuperación puede tardar décadas (Uthicke *et*

al., 2004), afectando al ecosistema marino y a la sociedad, ya que es una de las fuentes más importantes de ingresos para las comunidades pesqueras locales. Este recurso provee también ingresos económicos a pobladores de las comunidades rurales cercanas a la costa, que migran a las zonas costeras para brindar servicios básicos o referentes al procesamiento del producto final del pepino de mar (INP, 2009).

El estado de las poblaciones de los pepinos de mar en todo el mundo es grave, con el 14% de las pesquerías de pepino de mar del mundo totalmente explotadas, el 20% agotado y 38% sobreexplotado (Purcell *et al.*, 2013).

La mayoría de las especies con importancia comercial pertenecen al orden Aspidochirotida y de las 377 especies pertenecientes a este orden, el 4% de ellas se encuentran amenazadas de acuerdo con la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Dentro de este grupo se incluyen siete especies en la categoría "en peligro de extinción" y nueve en la categoría de "vulnerables" (Purcell *et al.*, 2014). De acuerdo a la información de la UICN, el 29% de las 377 especies se consideran como de preocupación menor y el 66% presentan datos insuficientes (Purcell *et al.*, 2014).

Se reconoce tres especies de pepino de mar de importancia comercial en la región sureste del Golfo de México: *Isostichopus badionotus* (Selenka, 1867) (pepino de mar café), *Holothuria floridana* (pepino de mar lápiz) y *Astichopus multifidus* (Zetina Moguel *et al.*, 2003). Su extracción en la península de Yucatán estuvo operando desde el año 2000 hasta el 2012 bajo el esquema de "pesca de fomento" (Salas *et al.*, 2011). En abril del 2013 se autorizaron los primeros permisos de "pesca comercial" (DOF: 25/04/2013), sujetos a las medidas de manejo establecidas en la Carta Nacional Pesquera.

Desde el comienzo de su explotación este producto ha tomado mayor relevancia como pesquería alternativa en la entidad, al aportar una enorme derrama económica gracias al precio en el que se comercializa, y a las grandes cantidades que se capturan. De acuerdo con reportes de la delegación de la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA) la temporada para la captura del pepino de mar dejó una derrama económica de 54 millones de pesos. Una encuesta realizada en la región en 2012 se reportaron precios para el pepino de mar fresco entre \$ 28 y \$ 50 pesos mexicanos (PM) (\$ 2.00 y \$ 3.70 USD) por kilogramo y entre \$ 270 y \$ 370 PM (\$ 20 y \$ 26 USD) por kilogramo de pepino de mar seco (SAGARPA, 2015). En los registros de pago obtenidos de una cooperativa de pesca en Yucatán, el promedio diario de ganancias por embarcación fue de \$ 6,037.85 MP (\$ 459 USD) y alcanzó \$ 9,698.8 MP (\$ 737 USD) durante la temporada de pesca de pepino de mar.

En la actualidad la acuicultura se ha convertido en una práctica que permite aprovechar un recurso sin afectar directamente a las poblaciones naturales, pero requiere de investigación para poder establecer los parámetros que permitan el desarrollo y crecimiento de los animales en cultivo. El sector pesquero no da el abasto suficiente con la demanda a nivel mundial, por lo que la acuicultura es una alternativa para cubrir tal demanda comercial.

El desarrollo de la acuicultura en los últimos años ha multiplicado su importancia como generadora de alimento, así mismo, desarrollando aspectos positivos, potencialidades y debilidades de esta actividad

La producción de pepino de mar en cautiverio es complicada por la alta mortalidad durante el desarrollo larvario y juveniles tempranos. De los que sobreviven, el crecimiento suele ser lento y con mucha dispersión de tallas. Se ha dicho que parte del problema de la dispersión de tallas se debe a la densidad de animales y la alimentación. De estos, la alimentación es el factor de mayor

importancia y en donde se van los mayores costos de producción. El alimento más utilizado para la engorda de juveniles es la harina de algas, sin embargo, es necesario diversificar y evaluar distintas fuentes de alimento que promuevan el crecimiento y representen una disminución en los costos de producción mientras los animales permanezcan en el laboratorio. Por otro lado, se ha observado que los juveniles de pepino de mar suelen tener un buen crecimiento cuando se utilizan desechos de otros animales, sean heces, alimento no consumido, o cuando hay una buena cantidad y calidad de materia orgánica, etc. (Paltzat *et al.*, 2008).

El uso o inclusión de nuevas fuentes de alimento que representen una mejora permitirá avanzar en el desarrollo de la biotecnología de cultivo de esta especie. El presente trabajo tiene como finalidad determinar si la inclusión de la harina de biofloc tiene un efecto positivo en el pepino de mar y de los cuatro tratamientos cual es el nivel de inclusión más adecuado. La tecnología biofloc fue desarrollada bajo el mismo principio que tienen las plantas de tratamiento de aguas servidas convencionales, el microbiota crece a partir de las excretas de los organismos cultivados, transformándolas en productos orgánicos de menor complejidad que pueden ser consumidos por otros organismos y reintegrados a la cadena alimenticia (Avnimelech y Kochba, 2009; Emerenciano *et al.*, 2012).

La información generada con esta investigación contribuirá a la mejora en el conocimiento sobre los tipos de dietas más adecuadas para utilizar en el cultivo del pepino de mar. A largo plazo se podrá minimizar el impacto ambiental que trae consigo la pesca del pepino de mar, para dar pauta a la reproducción y regeneración de las poblaciones naturales para mantener el ecosistema en equilibrio.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el efecto del uso de la harina biofloc como alimento, en el crecimiento y la supervivencia de juveniles del pepino de mar *Isostichopus badionotus*.

Objetivos Específicos

- Evaluar si la harina de biofloc producido en un cultivo de tilapia puede ser usado como ingrediente para alimentar juveniles de pepino de mar.
- Determinar los niveles de la harina de biofloc que favorezcan el desempeño de los organismos.
- Determinar, en su caso, cual es la cantidad ideal de la harina de biofloc a incluir en los alimentos de juveniles de pepino de mar.

HIPÓTESIS

El biofloc producido en un cultivo de tilapias contiene materia orgánica y nutrientes que pueden ser asimilados por los juveniles de pepino de mar debido a sus hábitos alimenticios detritívoros.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Los pepinos de mar, clasificados bajo la clase de equinodermos Holothuroidea dentro del filo Echinodermata, son intrigantes invertebrados marinos que comprenden aproximadamente 1700 especies. (Purcell *et al.*, 2023). Las especies más capturadas con fines comerciales pertenecen al orden Aspidochirotida (familias Holothuroidea y Stichopodidae). Según FAO (2010), existen más de 60 especies de pepinos de mar que son explotadas y comercializadas a nivel mundial, de las cuales 41 pertenecen a la familia Holothuroidea.

Clasificación taxonómica (Deichman, 1963):

Reino: Animalia

Phylum: Echinodermata

Subphylum: Eleuterozoa

Clase: Holothuroidea

Orden: Aspidochirota

Familia: Stichopodidae

Género: *Isostichopus*

Especie: *Isostichopus badionotus* (Selenka, 1867)

Nombre común: Pepino de mar café o ballenato (Figura 2)



Figura 2. Pepino de mar *Isostichopus badionotus*

El pepino de mar *Isostichopus badionotus* es un equinodermo que desempeña un papel fundamental en las comunidades bentónicas al actuar como recicladores de nutrientes y agente de bioturbación (Navarro *et al.*, 2013). A nivel mundial, ha adquirido importante interés por el alto valor económico que representa su venta (Purcell, 2010).

Esta especie puede llegar a medir hasta los 45 cm de longitud y puede procesar 44 kg por año de sedimentos. Caracterizado típicamente por un cuerpo blando y cilíndrico con una distintiva textura similar al cuerpo, exhiben una apariencia gelatinosa que puede confundirse con babosas (Purcell *et al.*, 2023) Se diferencia por la presencia de numerosas y sobresalientes verrugas oscuras en la superficie del dorso y por la papila cónica y gruesa que sobresale del margen ventro-lateral. La boca se localiza ventralmente y está rodeada por 20 tentáculos con gruesos pedúnculos.

Es una especie con desarrollo indirecto con tres estadios larvarios: larva auricularia, con tres sub-estadios, seguidos de doliolaria, y larva pentáctula (Figura 3), misma que al asentarse da lugar a un juvenil bentónico (Zacarías-Soto *et al.*, 2013). Durante la etapa juvenil, el pepino se

alimenta de diatomeas y detritus de algas calcáreas. Los juveniles adquieren hábitos crípticos y se mantienen aproximadamente ocho meses ocultándose bajo rocas o entre arrecifes de coral. Al alcanzar tallas mayores lo pepinos se desplazan a los arenales cercanos para alimentarse de detritus vegetal y continuar con su proceso de crecimiento, maduración y reproducción (Poot-Salazar, 2014).

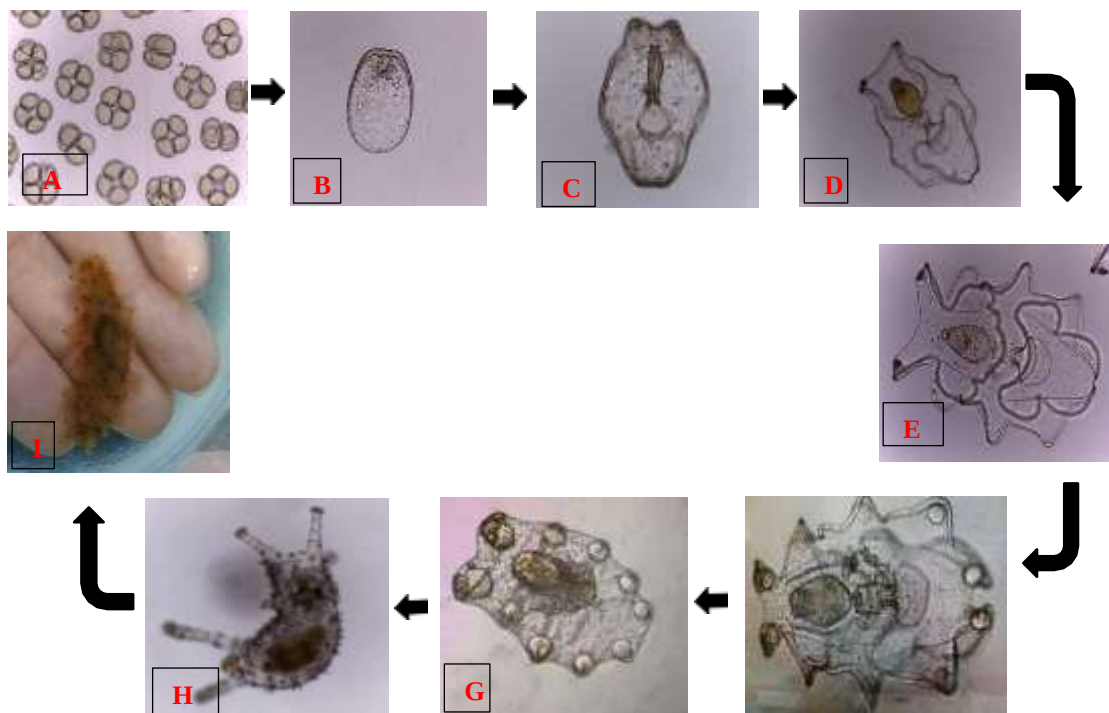


Figura 3. Ciclo de vida del pepino de mar.

A) División celular, B) Blástula, C) Gástrula, D) Auricularia temprana, E) Auricularia intermedia, F) Auricularia Tardía, G) Doliolaria, H) Pentáctula, I) Juvenil.

Nutrición

Los pepinos de mar se alimentan a base de partículas en suspensión o sedimentadas en donde extienden sus tentáculos ramificados y los agitan sobre el fondo o los mantienen dentro de una corriente de agua. En ambos casos las partículas alimenticias quedan retenidas en las papilas adhesivas de la superficie de los tentáculos; la estructura de dicha superficie está relacionada con

el tamaño de las partículas que generalmente se utilizan como alimento. El animal introduce los tentáculos en su faringe uno a uno y mientras va saliendo de nuevo, es cuando se van desprendiendo las partículas alimenticias (Zamorano, 2005).

Ámbito ecológico

Al funcionar como carroñeros marinos, desempeñan un papel vital en los ecosistemas marinos al atravesar tranquilamente el fondo marino y alimentarse de algas, pequeñas criaturas y materia en descomposición utilizando sus distintivos pies ambulacrales. A pesar de enfrentarse a la depredación de cangrejos, peces, tortugas y ciertos tiburones, contribuyen activamente a procesos ecológicos como la descomposición. En particular, se ha documentado que *Parastichopus tremulus* ingiere aproximadamente 0,6 kg de sedimento seco por kilogramo al año, y se informa que *Australostichopus mollis* consume alrededor de 3 kg de sedimento por kilogramo al año (Mohsen y Yang, 2021), lo que subraya su importante papel en la biorremediación de sedimentos.

Se ha reportado que esta especie habita en lechos de pastos marinos de *Thalassia* y *Syringodium* (Miller y Pawson, 1984). Frente a las costas de Yucatán se le encuentra en fondo llamados blanquizales, los cuales están constituidos por zonas de arena, cordilleras de laja y algas (Poot-Salazar, 2014). También es común observarlos en zonas de pastos marinos frente a las localidades de Dzilam de Bravo y San Felipe (Espinoza-Méndez *et al.*, 2012). Esta especie se ha encontrado a profundidades desde 6 m a más de 20 m frente a la costa de Yucatán, la temperatura promedio a esas profundidades durante los años 2009-2010, fue de 25 °C y de 23 a 26 °C durante los años 2012-2013 (Espinoza-Méndez *et al.*, 2012; Poot-Salazar *et al.*, 2013).

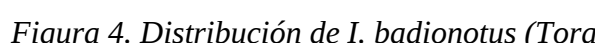
Los pepinos tienen un papel ecológico muy importante en los ambientes en donde se encuentran, ayudando a reciclar el detritus y algunas especies se entierran en los sedimentos

facilitando la oxigenación de las capas superiores, por lo que juegan un papel importante en la bioturbación. La ingestión, procesamiento y expulsión del detritus o sedimento marino por parte de los holoturios destruye su estratificación y modifica su estabilidad físico-química (Conde, 1997).

Los pepinos de mar son consumidos por una variedad de depredadores, específicamente por invertebrados como estrellas de mar, cangrejos y algunos gasterópodos (Purcell *et al.*, 2010). Los juveniles son presa de peces y se cree que algunas tortugas y mamíferos los consumen ocasionalmente. Como mecanismo de defensa, contraen su cuerpo adoptando algunas de las dos estrategias siguientes: expulsa las vísceras para confundir al predador o lisan su cuerpo por acción de las saponinas u holoturinas, sustancias líticas presentes en la pared corporal. Las saponinas son tóxicas para algunos organismos, por lo que lo utilizan como defensa. La segunda estrategia es lo que los pescadores locales llaman como “babeo de pepino”, cuando esto ocurre lo devuelven al mar para evitar afectar al resto de la captura presente en la embarcación (Hernández *et al.*, 2012).

Distribución geográfica y hábitat

En los puertos pesqueros donde se realiza su pesquería la especie de pepino de mar *I. badionotus* se conoce como “ballenato”, “pepino de mar café” o “choco chip” (Purcell *et al.*, 2012; Toral-Granda *et al.*, 2013). Se distribuye desde las Bermudas, el Golfo de México hasta el sur de Brasil, a lo largo de la costa suramericana, Atlántico medio, las Islas Ascensión y el Golfo de Guinea (Hendler *et al.*, 1995; Zetina *et al.*, 2003) (Figura 4). Se encuentra con frecuencia en aguas someras, protegidas y de fondos fango-arenosos y arenoso-fangosos, asociados normalmente a las praderas de fanerógamas marinas (Alfonso *et al.*, 2004). Se alimenta de sedimento, aprovechando la microbiota, materia orgánica y nutrientes (Buitrago y Boada, 1996). Esta especie tiene un alto poder de transformación del sedimento durante su actividad alimenticia.



Los pepinos de m

Estos productos se consumen en varios países siendo China el principal consumidor (Fan

tradicional destinada a prolongar su vida útil. Este método facilita el suministro en varias regiones y simplifica el almacenamiento y el transporte (Nishanthan *et al.*, 2022). Además, el secado sirve frecuentemente como un pretratamiento crucial o parte del proceso de preparación del material para varias aplicaciones que involucran al pepino de mar, por ejemplo, la extracción de compuestos bioactivos (Aatab *et al.*, 2023).

La pesquería de pepino en la península de Yucatán es de gran importancia por la demanda creciente del producto en el mercado internacional, donde los precios son cada vez mayores, lo que representa un ingreso de divisas al país. En el mercado asiático presentan una gran demanda, con precios que pueden alcanzar hasta los 2,000 dólares el kilo según la especie, mientras que *I. badionotus* se comercializa al menudeo en 450.00 USD/Kg, razón por la que algunas de las poblaciones naturales están sobre explotadas.

Esta pesquería representa una nueva fuente de empleos temporales, por lo que brinda ingresos adicionales a las comunidades pesqueras, y a un gran número de personas involucradas en el procesamiento y transporte, de poblados aledaños a las zonas de pesca, e incluso algunas familias de Chiapas, Tabasco y Veracruz. Las poblaciones costeras de Yucatán y Campeche cuya actividad económica depende en gran medida de la pesca, son: Celestún (55% de la población), Progreso (30%), Dzilam de Bravo (66%), Telchac (50%), Río Lagartos y San Felipe (50%) e Isla Arena (casi el 100% de la población depende de esta actividad, seguida del turismo en temporada alta). (Ardisson *et al.*, 2012).

Tecnología Biofloc (BFT)

Los sistemas convencionales de producción acuícola en muchos lugares empiezan a disminuir por la necesidad de grandes cantidades de agua, que cada vez es más escasa, y con el aumento de la contaminación por la descarga de afluentes, además del aumento del costo de los

alimentos. Por lo anterior se ha intensificado la búsqueda de nuevas posibilidades de producción que sean amigables con el ambiente. Una alternativa de cultivo es el sistema biofloc (Sistema de suspensión activa o Biofloc Technology-BFT) considerado como una tecnología sostenible y eficaz (Crab *et al.*, 2012), en la cual los nutrientes generados en el sistema, pueden ser reciclados y reutilizados continuamente, dándose una interacción compleja entre la materia orgánica y los microorganismos.

En este sistema la productividad natural juega un papel importante en el reciclaje de nutrientes y mantenimiento de la calidad del agua, siendo necesario conocer la composición microbiológica adherida al biofloc para brindarle un manejo adecuado, maximizar sus efectos benéficos, tales como, la remoción de compuestos nitrogenados y la alimentación de los animales en cultivo (Mcintosh R, 2001; Ray *et al.*, 2010).

Esta alternativa empiezan a cautivar el interés de los acuacultores es el sistema de producción con tecnología biofloc (BFT), la cual se sustenta en procesar en el mismo estanque los residuos de alimento, materia orgánica y compuestos inorgánicos tóxicos, a través de microorganismos presentes en los medios acuáticos, dando condiciones de dominancia a comunidades autótrofas y heterótrofas, resolviendo sustancialmente los problemas de saturación de nutrientes a partir de su reciclaje (Collazos y Arias, 2015).

Avnimelech (2012), sostiene que el biofloc es un conglomerado de microorganismos que consiste principalmente en bacterias, zooplancton, protozoos y microalgas, junto con detritus y partículas orgánicas. Aquí el microbiota crece a partir de las excretas de los organismos cultivados, transformándolos en productos orgánicos de menor complejidad que pueden ser consumidas por otros organismos y reintegrados a la cadena alimenticia.

El sistema BTF ha demostrado que las especies en cultivo presentan mayores tasas de crecimiento debido a la ingesta de biofloc microbiano suspendido, esto permite que haya mejor aprovechamiento del alimento proporcionado (Decamp *et al.*, 2002)

DESARROLLO DEL PROYECTO

Ubicación del experimento

El presente estudio se llevó a cabo en el laboratorio e instalaciones de la Estación Marina ubicada en Puerto de Abrigo de Telchac Puerto ($21^{\circ} 20' 7.2''$ Norte, $89^{\circ} 18' 52.7''$ Oeste), perteneciente al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), Unidad Mérida (Figura 5).



Figura 5. Instalaciones de la Estación Marina del CINVESTAV y su ubicación geográfica

Periodo de estudio

La investigación tuvo una duración de tres meses, tiempo en el cual se realizó la adecuación del sistema experimental, selección de los juveniles, fase de adaptación, distribución de los juveniles en cada tanque y el periodo de evaluación del efecto del biofloc durante 60 días.

Obtención del biofloc

El biofloc se obtuvo de la empresa Acuícola Garza, granja dedicada a la producción de tilapias, ubicada en Tetiz, Yucatán. Se extrajo de los sedimentadores de los tanques de cultivo de tilapia bajo la técnica de biofloc que utiliza la empresa. El biofloc se secó durante 24 horas en un horno de convección del laboratorio de Nutrición del CINVESTAV, Unidad Mérida. Ya seco (Figura 6) se molió y tamizó para manejarlo como harina.



Figura 6. Biofloc seco sin moler

Obtención de los juveniles

Los juveniles de pepino de mar utilizados en este experimento fueron producidos en cautiverio en la misma Estación Marina del CINVESTAV en Telchac Puerto. Se seleccionaron los juveniles pigmentados (Figura 7) del desove de diciembre del año 2017 de un mismo lote de reproductores.



Figura 7. Juvenil de pepino de mar

Sistema experimental

Se utilizaron 12 tanques plásticos de 76 L de capacidad, conectados a un sistema de recirculación de agua marina filtrada y con condiciones ambientales controladas (Figura 8).



Figura 8. Sistema experimental

Cinco días antes de iniciar el experimento los juveniles fueron aclimatados al sistema, introduciéndolos a los tanques donde se alimentaron con la dieta que comúnmente se utiliza: 80% de arena y 20% de la mezcla de harina de las algas: *Ulva* sp., *Sargassum* sp. y *Macrosystis* sp. Después de los cinco días, se dejaron en inanición por 24 horas para que vacíen el tracto digestivo y se les realizó la biometría inicial. Se asignaron siete juveniles por tanque con un peso promedio de 9.48 g, utilizando un total de 84 juveniles, se emplearon tres replicas por tratamiento.

Alimentación

Se emplearon cuatro tratamientos (Tabla 1) por triplicado, con un diseño experimental estratificado. El esquema de alimentación inicial consistió en un 80% de arena y un 20% de mezcla de harina de algas la cual fue sustituida gradualmente con diferentes niveles de inclusión de biofloc. Las dietas fueron suplementadas con una fuente comercial de ácidos grasos (Algamac®). Los tratamientos fueron los siguientes:

T1: 80 g de arena + 20 g de mezcla de harina de algas + 1 g de algamac.

T2: 80 g de arena + 13 g de la mezcla de harina de algas + 7 g de biofloc + 1 g de algamac.

T3: 80 g de arena + 7 g de la mezcla de harina de algas + 13 g de biofloc + 1 g de algamac.

T4: 80 g de arena + 20 g de biofloc + 1 g de algamac.}

Tabla 1

Esquema de alimentación

Tratamiento	Mezcla de algas	Biofloc
T1	100%	0%
T2	65%	35%
T3	35%	65%
T4	0%	100%

Los juveniles fueron alimentados tres veces por semana. Antes de cada alimentación se limpiaba cada tanque, sifonando el alimento no consumido y las heces. Semanalmente se les adicionó una base de 200 g de arena después de limpiar cada tanque. Todos los tanques contaban con aireadores independientes.

Biometrías

Se realizaron biometrías cada 15 días (Figura 9), midiendo y pesando a cada animal, haciendo un total de cinco biometrías. Cada semana se llevó un registro de los parámetros físico-químicos del agua (pH, oxígeno disuelto, salinidad) con un medidor multiparámetro HANNA HI 9829. La temperatura siempre se mantuvo a $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$, aireación y flujo constante.

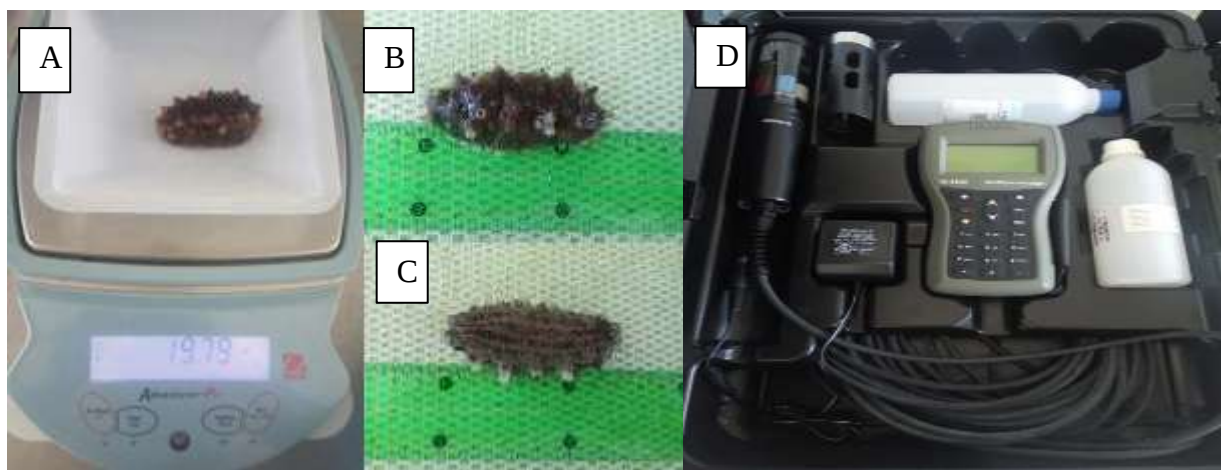


Figura 9. A) Peso de juvenil, B) Medida dorsal, C) Medida ventral, D) Medidor multiparámetro HANNA HI 9829.

Análisis químicos

Para determinar el valor nutritivo de cada muestra, se realizaron análisis proximales Weende (método general de análisis de los alimentos) a los pepinos de mar con los cuatro tratamientos, mezcla de algas y biofloc en el laboratorio de Nutrición Acuícola del CINVESTAV, Unidad Mérida. De los juveniles utilizados en el experimento se tomaron seis por cada tratamiento para realizar los análisis de composición corporal, antes de iniciar y después de finalizar el experimento. Se analizó un total de siete muestras (Tabla 2). Para realizar los análisis, los pepinos fueron colocados dentro tubos de plástico en un ultracongelador por 15 minutos para posteriormente deshidratarlos en frío en la liofilizadora por 48 horas. Esta técnica tiene la virtud de mantener inalterada la composición de las muestras. Después de las 48 horas la muestra seca se molió para realizar los análisis.

Tabla 2

Número de muestras

# de muestras	Tratamiento
1	T1
2	T2
3	T3
4	T4
5	Pepino sin tratamiento
6	Harina de Biofloc
7	Harina de Mezcla de algas

Determinación de Humedad

El contenido de humedad es la pérdida de peso que representa una muestra al desecarla en una estufa para que la muestra de un peso constante. Se pesaron por triplicado 5 g de muestra de cada tratamiento, posteriormente se colocaron las muestras al horno a 105 °C por un tiempo mínimo de 12 horas y se dejó enfriar las muestras en un desecador para pesar nuevamente las muestras. Se realizaron los cálculos aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad } ((W1 + W12) - W3) \times 100$$

Donde:

W1 = Peso del crisol

W2 = Peso final

W3 = Peso de la muestra

Determinación de Cenizas

El método se emplea para determinar el contenido de minerales totales o material inorgánico en las muestras mediante la calcinación. Esta determinación se realizó pesando por

triplicado 500 mg por muestra y se colocó en una mufla a 500 °C por 12 horas, se dejó enfriar en un desecador y se pesó cuidadosamente. Se realizaron los cálculos aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas } (W2 - W1/W3) \times 100$$

Lípidos crudos

El método se emplea para determinar la cantidad de lípidos contenidos en el alimento. Las grasas de la muestra son extraídas con éter de petróleo y evaluadas como proporción del peso después de evaporar el solvente. Los matraces se lavaron y secaron en una estufa y para enfriarlos se colocaron en un desecador para posteriormente pesarlos. Seguidamente se pesaron 500 mg de muestra en dedales de extracción por triplicado de cada tratamiento y se colocaron en la unidad de extracción que consistía en un matraz con éter de petróleo conectado al extractor. Después de la ebullición que duró aproximadamente 3 horas, se evaporó el éter por destilación colocando el matraz en el horno a 100°C durante hora y media para eliminar los restos del éter. Se enfriaron los matraces en un desecador y se pesaron.

Se realizaron los cálculos aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Lípidos } ((W1 + W2) - W3) \times 100$$

W1 = Peso del dedal de extracción

W2 = Peso del dedal de extracción con muestra

W3 = Peso de la muestra

Proteínas

Uno de los parámetros más importantes en cualquier alimento es el porcentaje de proteínas. Para este método se utilizó la técnica de Dumas utilizando un Analizador Elemental Flash EA 1112 que proporcionó el contenido total de carbono, hidrógeno, nitrógeno. Se pesó 0.5 g de cada muestra triplicada en contenedores de estaño que fueron introducidos dentro del reactor de

combustión desde el automuestreador. Para la función de este equipo se requiere helio y oxígeno es un proceso automático para calcinar las muestras, llegando a 1800 °C, con esta temperatura es posible analizar cualquier sustancia. Automáticamente el equipo proporciona los datos de Nitrógeno y Carbono, para obtener el resultado de las proteínas se calculó multiplicando el Nitrógeno con el factor 6.25.

Diseño experimental

Se analizó la supervivencia, tasa de crecimiento específico, peso promedio inicial, peso promedio final y peso ganado individual utilizando la prueba de análisis software Statgraphics Centurión XV con un 95% de confiabilidad en cada tratamiento; las gráficas se realizaron con el software Sigmaplot 13. Se realizaron las pruebas de normalidad y homocedasticidad, cuando los datos no fueron normales se hizo la prueba de Kruskal-Wallis y para los análisis de datos porcentuales primero se transformaron mediante la función $\text{asin}(\sqrt{x})$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al término del experimento el sistema de cultivo y los tratamientos no presentaron diferencias significativas en la supervivencia de los juveniles de pepino de mar ($P > 0.05$) (Tabla 3). Se registró la supervivencia más alta en el T2:100%. Las tasas de supervivencia más altas del pepino de mar en el sistema biológico podrían deberse a la comunidad microbiana óptima y de alta calidad del biofloc (Ekasari J., *et al* 2016), siendo el T2 uno de los tratamientos con un efecto positivo del biofloc. Un estudio realizado en *Apostichopus japonicus* para descubrir cuáles son las enfermedades que afectan los cultivos, encontrando como resultado el síndrome de ulceración de la piel y el síndrome de evisceración (Deng H., *et al* 2009).

Tabla 3

Análisis de varianza Supervivencia

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	51.0204	3	17.0068	0.33	0.8018
Intra grupos	408.163	8	51.0204		
Total (corr)	459.184	11			

Tasa de crecimiento específico

Los resultados obtenidos para la tasa de crecimiento específico (Figura 10) indican que la TCE más baja se presentó en el T1, a la vez el T3 presenta mayor porcentaje, en donde influye la incorporación de la harina de biofloc a un 65%. El valor máximo de TCE se registró en los juveniles alimentados con la dieta T3. Sin embargo, no se presentaron diferencias significativas con un 95% de probabilidad (Tabla 4).

Se realizó un estudio con *Apostichopus japonicus* encontraron que la suplementación dietética de harina de biofloc mejoró las actividades de las enzimas digestivas (tripsina, lipasa y

amilasa), lo que podría mejorar la digestión del alimento y la absorción de nutrientes del pepino de mar (Chen J., *et al* 2018) por lo tanto, se encuentra un mayor crecimiento en los tratamientos con la harina de biofloc.

Tabla 4

Análisis de varianza Tasa de Crecimiento Especifico.*

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.514463	3	0.171488	3.20	0.0838
Intra grupos	0.428937	8	0.0536171		
Total (corr)	0.9434	11			

*Análisis estadístico de datos transformados $\arcsin(\sqrt{x})$

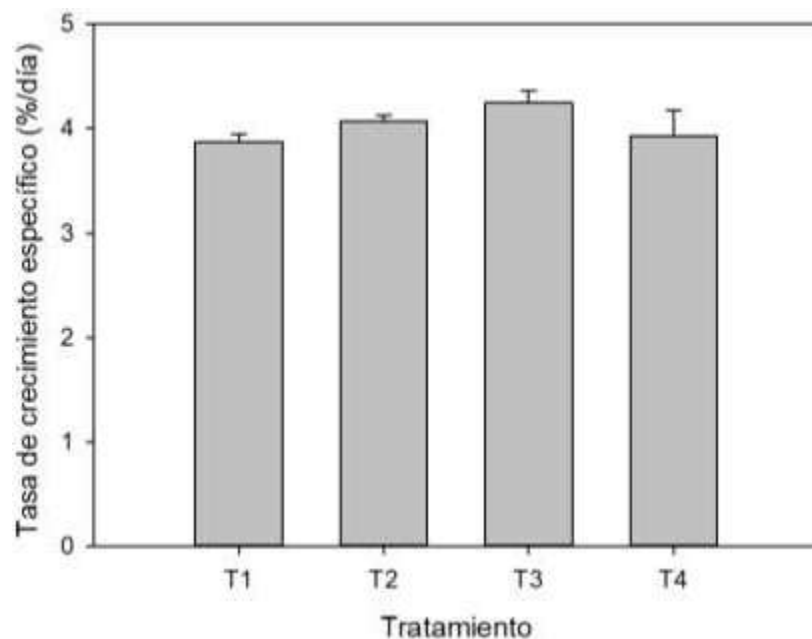


Figura 10. Tasa de crecimiento específico

Peso promedio inicial

El peso promedio inicial de cada tratamiento estadísticamente no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$) (Tabla 5). La distribución de los organismos entre los tanques no fue una fuente de variación debido a que se realizó al azar, disminuyendo de esta manera el error

experimental y asegurando la uniformidad en el peso de los pepinos entre los tratamientos (Figura 11).

Tabla 5

Análisis de varianza Peso Promedio Inicial.

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.000298469	3	0.0000994898	0.13	0.9417
Intra grupos	0.0062898	8	0.000786224		
Total (corr)	0.00658827	11			

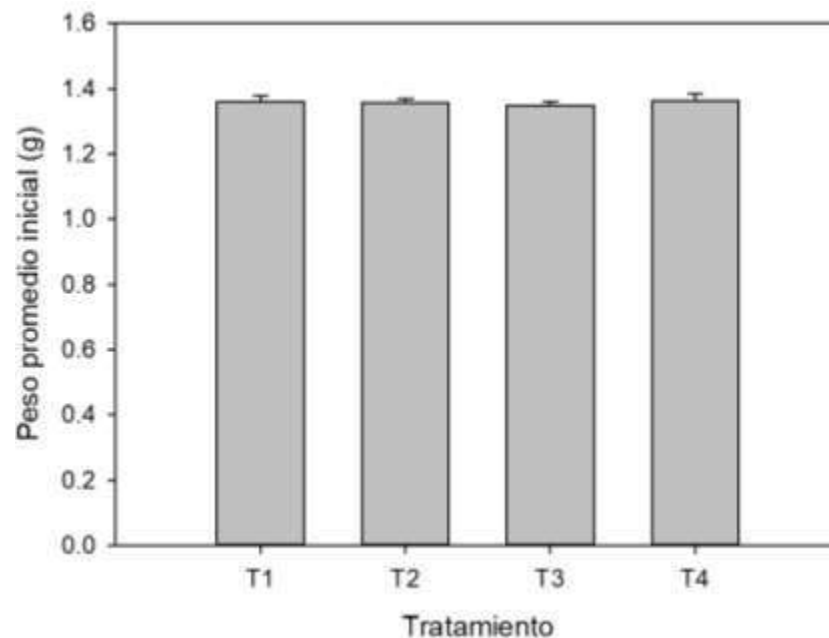


Figura 11. Peso promedio inicial sin diferencias significativas.

Peso ganado

El peso ganado (%) individual (Tabla 6) y por tratamiento (Tabla 7), el mejor se obtuvo en el T3 y el más bajo en el tratamiento T1, estadísticamente no hubo diferencias significativas entre ellos ($P < 0.05$).

Sin embargo, como se observa en la Figura 12 y 13, el tratamiento 3 obtuvo mayor ganancia de peso que los demás tratamientos. Se hace evidente que los juveniles de pepino de mar al ser sometidos a la alimentación con el 65% de biofloc tienen mayores ganancias de pesos debido a la capacidad filtradora de la especie. El biofloc juega un papel muy importante en la mejora del crecimiento y estado de salud de los organismos acuáticos. Chen *et al.* (2018) realizaron un experimento con *Apostichopus japonicus* y determinaron que la suplementación dietética de biofloc podría mejorar el rendimiento de crecimiento de la especie, mejorar la respuesta inmune y la resistencia a las enfermedades del pepino de mar.

Tabla 6

*Análisis de varianza Peso Ganado (%) **

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0913735	3	0.0304578	3.02	0.0938
Intra grupos	0.0806235	8	0.0304578		
Total (corr)	0.171997	11			

*Análisis estadístico de datos transformados $\arcsin(\sqrt{x})$

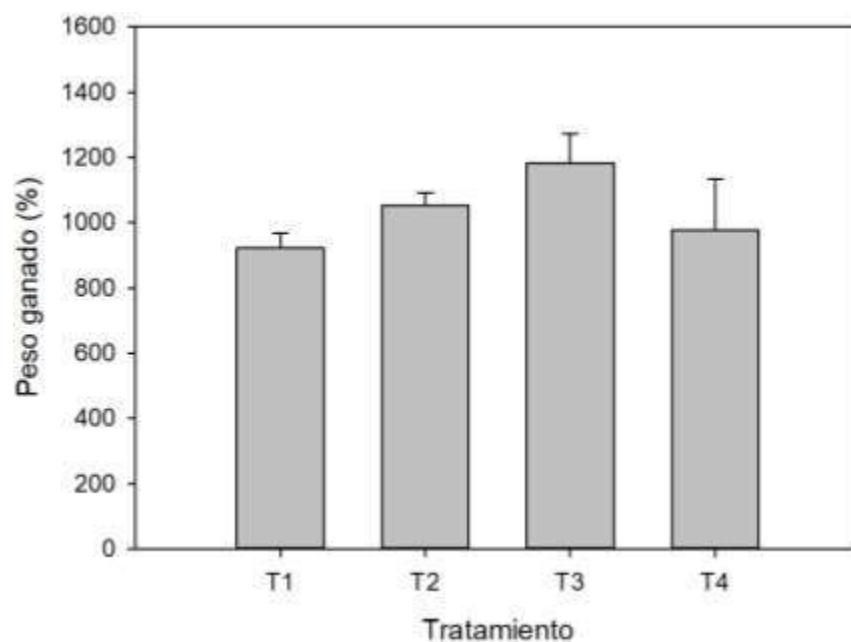


Figura 12. Peso ganado por tratamiento

Tabla 7

Análisis de varianza del Peso Ganado Individual

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.00553367	3	0.00184456	1.52	0.2813
Intra grupos	0.00968533	8	0.00121067		
Total (corr)	0.015219	11			

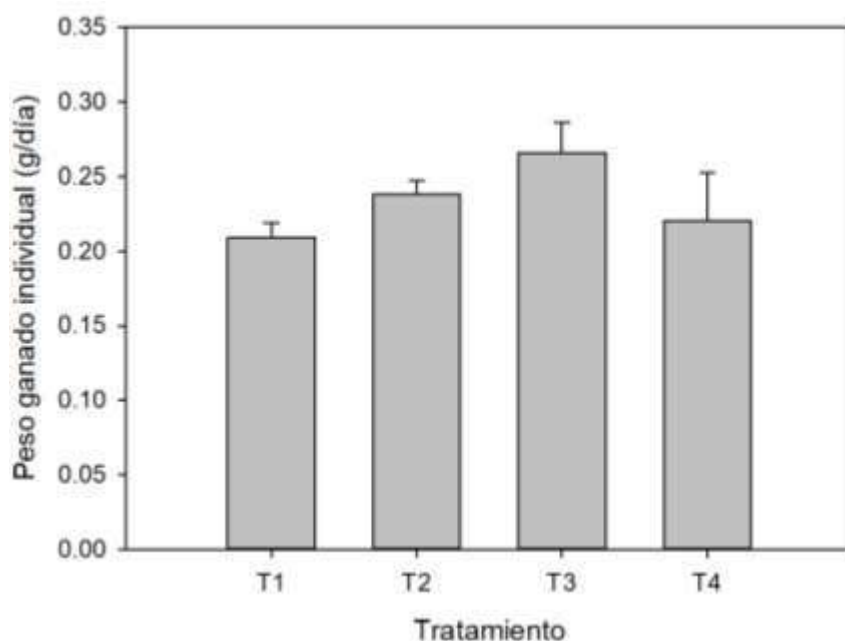


Figura 13. Peso ganado individual

En la Figura 14 se puede observar que al inicio del experimento los T1, T2 y T3 mostraron un comportamiento similar, a partir de la tercera biometría (30 días de cultivo) inicia la separación del crecimiento, el T3 reportando mayor peso ganado individual 0.260 g/día y el T1 reportando menor ganancia de peso 0.166 g/día. En el trabajo realizado por Chen *et al.* (2018), evaluaron el efecto de la suplementación dietética de biofloc sobre el crecimiento y mortalidad del pepino de mar *Apostichopus japonicus*. la dieta de biofloc redujo significativamente la mortalidad acumulada del pepino de mar después de ser desafiado con *Vibrio splendidus* y la suplementación dietética de biofloc podría mejorar el rendimiento del crecimiento de *A. japonicus*, disminución de la actividad de las enzimas digestivas, liberación del estrés fisiológico, mejora de la respuesta inmunitaria y de la resistencia de pepino de mar.

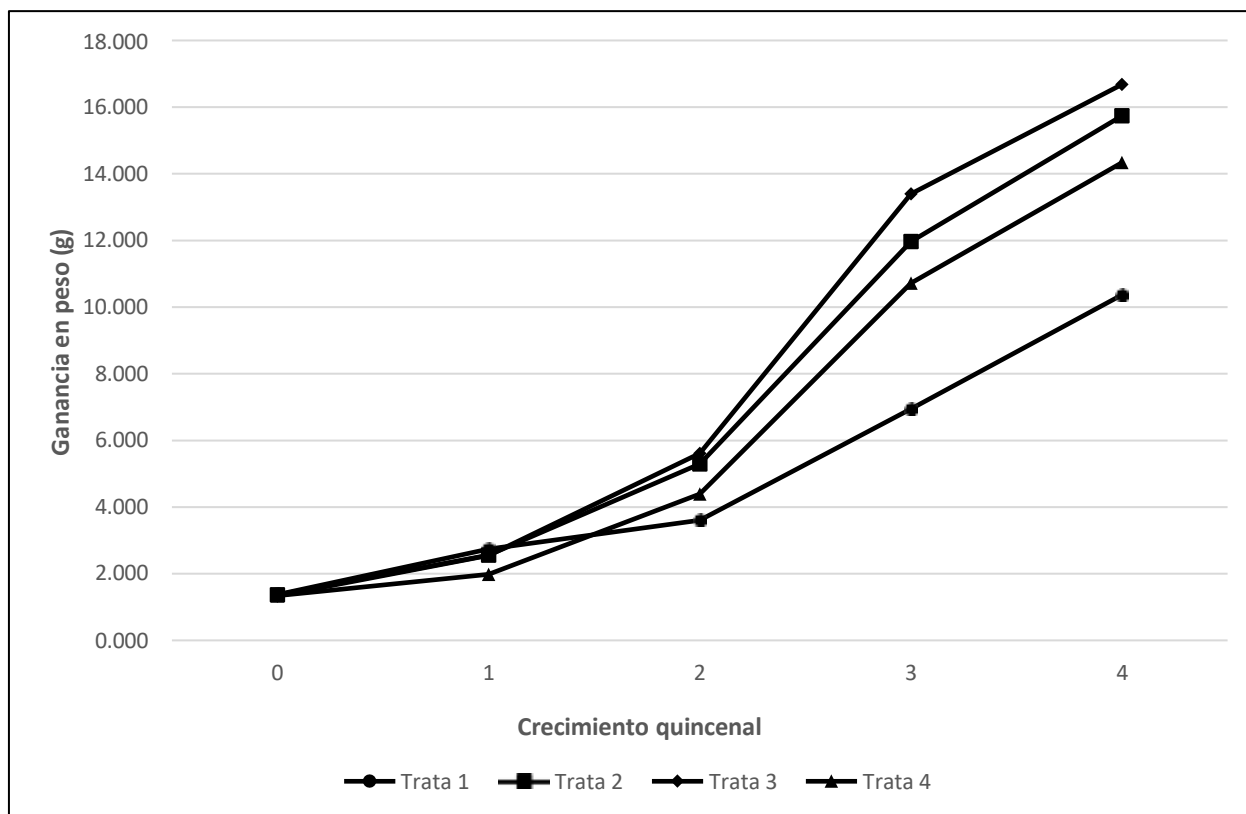


Figura 14. Comportamiento del crecimiento de los juveniles del pepino de mar.

Peso promedio final

En la Figura 15, se muestra el comportamiento del crecimiento en gramos, observándose que el crecimiento con un valor más alto fue el T3, mientras que el T1 presentó un menor crecimiento. El análisis de varianza detecto que en el peso promedio final de los organismos estadísticamente no presentan diferencias significativas (Tabla 8) pero sí indican un efecto positivo en el crecimiento de los juveniles de pepino de mar (*I. badionotus*). Al incluir un 65% de la harina de biofloc al alimento se pudo observar una mayor ganancia de peso, el biofloc es una muestra de partículas orgánicas y microorganismos útiles puede mejorar el rendimiento del crecimiento de los animales acuáticos como suplemento dietético (Xu y Pan, 2012; Zhao et al., 2012; Xu y Pan, 2014).

Tabla 8

Análisis de varianza Peso Promedio Final

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	19.8542	3	6.61808	1.52	0.2825
Intra grupos	34.8589	8	4.35736		
Total (corr)	54.7131	11			

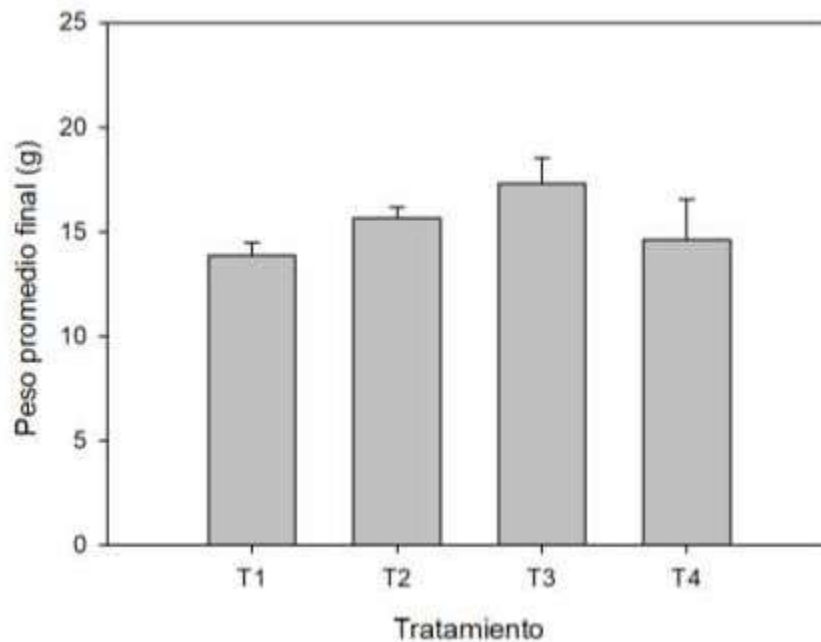


Figura 15. Peso promedio final

Análisis proximales

La composición química proximal de las muestras se presenta a base húmeda (Tabla 9). De las harinas se puede observar que el biofloc contiene los valores proteicos más altos con 34.7% y la harina de algas presentando un porcentaje de 8.7%. El consumo del biofloc por los organismos cultivados es una de las características del sistema menos estudiado en el BFT; comprobar su ingestión garantiza sostenibilidad del sistema a nivel económico y productivo (Chaverra, 2016). Los flóculos presentan características nutricionales variables, con contenidos de proteína

considerables, lo que permite ser visto como un suplemento alimenticio proteico prometedor (Xu et al., 2012).

Tabla 9. Resultados Análisis Proximales

	Biofloc	Mezcla de algas.	Pepino sin tratamiento.	T1	T2	T3	T4
Humedad (%)	37.8	8.85	94.7	94.9	92.2	93.2	94.5
Cenizas (%)	86.3	85.2	56.6	55.3	58.5	58.2	53
Proteína cruda (%)	34.7	8.7	21.7	27.1	23.8	25.5	27.7
Lípidos (%)	6.7	7.1	11.4	9.4	9.1	11.7	8.4
Fibra cruda (%)	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.6	4.5
ELN (%)	70.2	14.55	89.1	92	88.3	93.9	88.1

Los informes sobre los niveles de PC (alrededor del 33%) en flóculos microbianos por Emerenciano *et al.* (2011) y Suita *et al.* (2015) fueron más bajos que los encontrados en este estudio, lo que podría estar asociado con la composición de las comunidades de microorganismos presentes en el biofloc.

Composición de los alimentos y organismos

En el contenido proteico (Tabla 9) se puede observar una diferencia del pepino sin tratamiento (21.7%) comparado con los pepinos que sí estuvieron en los tratamientos, los T1 y T4 fueron los más altos (27.7%). Según Azim y Little (2008) y Hargreaves (2006), el peso seco del contenido de proteínas puede variar de 25 a 50%. Se ha reportado que el consumo de BFT genera

resultados favorables en el crecimiento y mejor retención de la proteína (Xu *et al.*, 2012; Avnimelech, 2009).

La composición de los alimentos (Tabla 9) se puede observar que el biofloc tuvo un porcentaje mayor en los estudios realizados (humedad, cenizas, proteínas, fibra y extracto libre de nitrógeno) comparado con el de la harina de algas. Los organismos del T3 alimentados con un 65% de biofloc presentaron un mayor resultado a diferencia de los otros tratamientos, siendo similar a otro estudio en donde se afirma que el alto contenido de nutrientes probablemente se debe a la alimentación con la harina de biofloc (Ju *et al.*, 2008 , Ekasari *et al.*, 2010 y Xu *et al.*, 2012). Además, estos autores declaran que son una buena fuente de minerales.

CONCLUSIÓN

Finalmente podemos concluir que el biofloc producido en un cultivo de tilapias puede ser un suplemento alimenticio para los pepinos de mar *Isostichopus badionotus* ya que contiene materia orgánica y nutrientes que pueden ser asimilados por los organismos por sus hábitos alimenticios. En ningún resultado se presentó diferencia significativa, pero se pudo observar una respuesta positiva con base al crecimiento, supervivencia y valores proteicos en los juveniles que fueron alimentados con el tratamiento 3 alimentados con un 65% de la harina de biofloc y un 35% de la mezcla de harina de algas (*Ulva* sp., *Sargassum* sp. y *Macrosystis* sp.).

REFERENCIAS

- Aatab, F., Bellali, F., Aboudamia, FZ, Errhif, A. y Kharroubi, M. (2023). Compuestos fenólicos y actividad antioxidante in vitro de extractos acuosos de pepino de mar (*Holothuria tubulosa*) secados por aspersión y liofilizados. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 11 (Número), 158-167.
- Alfonso, I., M. P. Frías, L. Aleaga y C. Alonso. 2004. Current status of the sea cucumber fishery in the South-eastern region of Cuba. In: Lovatelli, A., Conand, C. Purcell, S., Uthicke, S., Hamel, J.-F., Mercier, A. (Eds.), *Advances in Sea Cucumber Aquaculture and Management*. FAO Fisheries Technical Paper. No. 463, FAO, Rome, 457 p.
- Anderson, S. C., J. M. Flemming, R. Watson y H. L. Lotze. 2011. Serial exploitation of global sea cucumber fisheries. *Fish and Fisheries* 12 (3): 317-339.
- Ardisson, P.L., A. Hernández Flores, J. C. Espinoza, C. Gutiérrez, E. Poot, I. N. Caro, A. I. Gutiérrez, I. C. Hernández, I. A. Guzmán, M. M. Landero y A. Poot-Salazar. 2012. Análisis Integral del Recurso Pepino de mar en la península de Yucatán para asistir la concertación del Programa de Ordenamiento en la región. Informe Final. INAPESCA-CINVESTAV. 184 p.
- Avnimelech, Y. 2012. *Biofloc Technology: A Practical Guide Book*. The World Aquaculture Society. Baton Rouge, LU, USA. 272 p.
- Buitrago, J. y J. Boada. 1996. La pesca de la *Holothuria Isostichopus badionotus* en el oriente de Venezuela. *Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*. LVI, 146: 33-40.
- Collazos, L., & Arias, J. (2015). Fundamentals of bioflocs technology (BFT). An alternative for fish farming in Colombia. A review. *ORINOQUIA*. 19, 77–86.

- Conde, J. E. 1997. Holoturios o pepinos de mar, una historia de sushi, sedimentos y codicia. *Ciencia Hoy. Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Asociación Ciencia Hoy* 39 (7).
- Chaverra, G.S.C. (2016). Contribución del biofloc como fuente de carbono y nitrógeno para el crecimiento de juveniles de Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
- Chen, J.H., Ren Y.C., Wang G.D., Xia B., Li Y.Q., 2018. Dietary supplementation of biofloc influences growth performance, physiological stress, antioxidant status and immune response of juvenil sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka), *Fish Shellfish Immunol.* 143-152.
- Crab, R, Defoirdt T, Bossier P, Verstraete W. 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture.* 351–56.
- Decamp, O, Conquest L., Forster I., Tacon AGJ. 2002. The nutrition and feeding of marine shrimp within zero-water exchange aquaculture production system: role of Eukaryotic microorganisms. In: Lee, C.S., O'Bryen, P. (Eds.), *Microbial Approaches to Aquatic Nutrition within Environmentally Sound Aquaculture Production Systems*, World Aquaculture Society, Baton Rouge, USA, pp. 79–86
- Deichman, E. 1963. Shallow water holothurians known from the Caribbean waters. *Studies on the Fauna of Curazao and Other Caribben Island.* No. 63: 100-11.
- Deng, H., He C., Zhou Z. Liu C., Tan K. y Wang N. 2009. Isolation and pathogenicity of pathogens from skin ulceration disease and viscera ejection syndrome of the sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Aquacultura.* 464:18-27.

- Ekasari, J., Suprayudi M. A., Wiyoto W., Hazanah R.F., Lenggara G.S., Sulistiani R. 2016. Biofloc technology application in African catfish fingerling production: the effects on the reproductive performance of broodstock and the quality of eggs and larvae. *Aquaculture*. 464:349-356
- Ekasari, J., Crab, R., Verstraete, W. (2010). Primary nutritional content of bioflocs cultured with different organic carbon sources and salinity. *Hayati Journal of Bio science* 17, 125- 130.
- Emerenciano, M, Gaxiola G, Cuzon G. 2012. Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry. In Tech, cap 12:301.
- Emerenciano, M, Cuzon G., Goguenheim, J. y Gaxiola, G. 2011. Contribución del flóculo en el rendimiento de desove del camarón azul *Litopenaeus stylirostris*. *Investigación sobre acuicultura*, 44 (1): 75-85. DOI: 10.1111 / j.1365-2109.2011.03012.
- Espinoza-Méndez, J.C., Hernández-Flores A., Poot-Salazar A, Cervera K, De Anda D. y Cob E. 2012. Evaluación del recurso pepino de mar en el Golfo de México 2012. Informe Final del Programa Operativo Anual 2012. Documento interno. SAGARPA-INAPESCA. 48 p.
- Fan, X., Ma, Y., Li, M., Li, Y., Sang, X. y Zhao, Q. (2022). Tratamientos térmicos y su influencia en las propiedades fisicoquímicas de los pepinos de mar: Una revisión exhaustiva . *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 57 (9), 5790-5800.
- FAO. 1995. Precautionary Approach to Fisheries. FAO Tech pap. 350, FAO, Rome. 1-52.
- FAO. 2014. FishStat Plus - Programa informático universal para series cronológicas de estadísticas pesqueras. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura/Organización de las Naciones Unidas. <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstat/es> FAO. 2011. Manejo las pesquerías de

- pepino de mar con un enfoque ecosistémico. Documento técnico de pesca y acuicultura No 520, FAO, Roma, 169 pp.
- Hendler, G., J. E. Miller, D. L. Pawson y P. M. Kier. 1995. Sea stars, sea urchins and allies. Echinoderms of Florida and the Caribbean. Smithsonian Institution Press. Washington and London. 390 p.
- Hernández-Flores, A. P., Ardisson L., Poot-Salazar A. y Espinoza J. C. 2012. Fundamento para el establecimiento de veda de las especies de pepino de mar frente a las costas de la Península de Yucatán. Opinión Técnica INAPESCA.
- Jiang, S., Dong, S., Gao, Q., Ren, Y. y Wang, F. (2015). Efectos de la profundidad del agua y el color del sustrato en el crecimiento y el color corporal del pepino de mar rojo. *Apostichopus japonicus*. Revista China de Oceanología y Limnología, 33 (3), 616-623.
- Ju, Z.Y., Forster I., Conquest, L. y Dominy W. 2008. Mejora los efectos de crecimiento sobre el camarón (*Litopenaeus vannamei*) a partir de la inclusión de flóculos de camarones enteros o fracciones de flóculos en una dieta formulada. Nutrición acuícola, 14 (6): 533-543.
- López-Rocha, J. A., Velázquez-Abunader I. 2019. Fast decline of the sea cucumber *Isostichopus badionotus* as a consequence of high exploitation in Yucatan, Mexico. Reg. Stud. Mar. Sci. 27, 100547. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100547>
- Mcintosh, R, 2001. Changing Paradigms in Shrimp Farming. Establishment of heterotrophic bacterial communities. Global Aquaculture Alliance. v. February.
- Miller, J. E. y D. L. Pawson. 1984. Holothurians (Echinodermata: Holothuroidea). Memoirs of the Hourglass Cruises 7(1): 1-79.

- Mohsen, M. y Yang, H. (2021). Pepinos de mar: Acuicultura, biología y ecología. Prensa académica.
- Nishanthan, G., Navarathne, SB y Dissanayake, DCT (2022). Impacto de diferentes combinaciones de etapas de procesamiento en la calidad del producto y la composición aproximada de la bêche-de-mer: Un estudio de caso de Sri Lanka. Revista Internacional de Ciencias de la Alimentación. 2022, 7877050.
- Ray, A. J., Seaborn G, Leffler J.W., Wilde S.B., Lawson A., Browdy C.L. 2010. Characterization of microbial communities in minimal-exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management. Aquaculture. 310:130–138.
- Suita, S.M., Ballester E.L.C., Abreu P.C. y Wasielesky, Jr. W. 2015. La dextrosa como fuente de carbono en el cultivo de *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) en un sistema de intercambio cero. Lat. A.m. J. Aquat. Res. 43 (3): 526-533. DOI: 10.3856 / vol43-issue3-fulltext-13.
- Paltzat, D. L., Pearce C. M., Barnes P. A. y McKinley R. S. 2008. Growth and production of California sea cucumbers (*Parastichopus californicus Stimpson*) co-cultured with suspended Pacific oysters (*Crassostrea gigas Thunberg*). Aquaculture 275, 124–137.
- Poot-Salazar, A. 2014. Crecimiento, reproducción y hábitos alimenticios de *Isostichopus badionotus* (Echinodermata: Holothuroidea) en el poniente del estado de Yucatán. Tesis doctoral. CINVESTAV-Mérida, Yucatán, México.
- Poot-Salazar, A., Hernández-Flores A., Espinoza-Méndez J. C., Cob E. F., Mena R., Cervera K., De Anda D., Cervera E. D., Águila J. y Quijano H. A. 2013. Análisis y manejo de los stocks de pepino de mar en la península de Yucatán. Informe Final del Programa Operativo Anual 2013. Documento interno. SAGARPA-INAPESCA. 74 p.

- Purcell, S.W., Lovatelli A., Vasconcellos M. y Yimin Y. E. 2010. Manejo de las pesquerías de pepino de mar con un enfoque ecosistémico. FAO, Documento Técnico de Pesca y Acuicultura 520. Roma (Italia). 169 p.
- Purcell, S. W., Samyn Y. y Conand C. 2012. Commercially important sea cucumbers of the world.
- Purcell, S. W. 2014. Value, Market Preferences and Trade of Beche-De-Mer from Pacific Island Sea Cucumbers. Plos ONE 9(4): e95075. doi: 10.1371/journal.pone.0095075.
- Purcell, S.W., Lovatelli A., Vasconcellos M. y Yimin Y. E. 2014. Manejo de las pesquerías de pepino de mar con un enfoque ecosistémico. Documento Técnico de Pesca y Acuicultura 520, FAO, Roma, 169 pp.
- Purcell, SW, Lovatelli, A., González-Wangüemert, M., Solís-Marín, FA, Samyn, Y. y Conand, C. (2023). Pepinos de mar de importancia comercial en el mundo. FAO.
- Salas, S., R. Chuenpagdee A., Charles y Seijo J. C. 2011. Coastal fisheries of Latin America and the Caribbean. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 544, FAO, Rome, 430 pp.
- Otoshi, C., Rodríguez N., y Moss S. 2011. Establishing Nitrifying Bacteria In Super-Intensive Biofloc Shrimp Production. Global Aquaculture Advocate, Mai/Jun(June), 4.
- Thakur, D. y Lin C. (2003). Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems. Aquacultural Engineering 27(3): 159–176.
- ToraL-Granda, V., Alessandro L. y Vasconcellos M. 2008. Sea Cucumbers: A Global Review of Fisheries and Trade. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 516, FAO, Rome, 317 pp.

- Uthicke, S., Welch D. y Benzie J. A. H. 2004. Slow growth and lack of recovery in overfished holothurians on the Great Barrier Reef: Evidence from DNA fingerprints and repeated large-scale surveys. *Conservation Biology* 18:1395-1404.
- Wilén, B. M., Jin B., Lant P. 2003. The influence of key chemical constituents in activated sludge on surface and flocculating properties. *Water Res.* 37: 2127–2139.
- Xu, W.J., Pan L.Q., Zhao D.H. y Huang J. 2012. Investigación preliminar sobre la contribución de los bioflocs en la nutrición proteica de *Litopenaeus vannamei* alimentados con diferentes niveles de proteínas en la dieta en tanques de cultivo de intercambio sin agua. *Acuicultura*, 350-353: 147-153. DOI: 10.1016 / j. aquaculture.2012.04.003.
- Zamorano, P., & Leyte Morales, G. E. 2005. Cambios en la diversidad de equinodermos asociados al arrecife coralino de La Entrega, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar*, 9(27), 19-28.
- Zacarias-Soto, M., Olvera-Novoa M. A., Pensamiento-Villarauz S. y Sánchez-Tapia I. 2013. Spawning and larval development of the four-sided sea cucumber, *Isostichopus badionotus* (Selenka 1867), under controlled conditions. *Journal of the World Aquaculture Society* 44 (5): 694-705.
- Zhang, M., Mamatov, S., Yaping, S., Jia, A. y Liu, C. (2021). La nueva tecnología de secado del pepino de mar. *Journal of Physics: Conference Series*, 2131 (5), 052071.
- Zetina-Moguel, C., Ríos V., Koyoc M., Hernández I., Cervera K., De Anda D., Arceo P., Ortiz E. y Guevara M. 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*: 298-306.