

Instituto Tecnológico Superior “Luis Arboleda Martínez”



Carrera de Tecnología Superior en Acuicultura

Determinación de dietas que promuevan el crecimiento y la maduración gonadal del erizo de mar *Tripneustes depressus*.

Tesis

Para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Tecnóloga Superior en Acuicultura

Presenta:

Angie Annabel Mendoza Moreira

Jaramijó, Manabí, Ecuador
2018



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR,
CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



Tesis defendida por:

Angie Annabel Mendoza Moreira

Directora de tesis:

Dra. Noelia Tourón Besada

Co-director:

Magister Hernán Jiménez

Institución:

Instituto Tecnológico Superior "Luis Arboleda Martínez"

Carrera:

Acuicultura

Especialidad:

Tecnología Superior en Acuicultura

Centro de desarrollo de investigación:

Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas

"CENAIM-ESPOL"

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE REVISIÓN Y DE TITULACIÓN

Tesis de grado sometida a consideración del tribunal de revisión y sustentación, como requisito previo a la obtención del título de Tecnóloga Superior en Acuicultura.

Tema:

Determinación de dietas que promuevan el crecimiento y la maduración gonadal del erizo de mar *Tripneustes depressus*.

Realizada por:

Angie Annabel Mendoza Moreira.

**Ing Alfredo Lucas Villegas
Miembro del jurado**

**Blgo Alcívar Mendoza
Miembro del jurado**

**Blga. Geormery Mera Loor
Miembro del jurado**

CERTIFICACIÓN DE LA DIRECTORA DE TESIS

San Pedro, 16 de Octubre de 2018

Yo, la Dra. Noelia Tourón Besada, en calidad de Directora de Tesis con número de cedula 35320405H, CERTIFICO que el trabajo de intervención titulado, **DETERMINACIÓN DE DIETAS QUE PROMUEVAN EL CRECIMIENTO Y LA MADURACIÓN GONADAL DEL ERIZO DE MAR *Tripneustes depressus***; de la Srta. Angie Annabel Mendoza Moreira, con número de cedula C.I 131712168-7, egresada de la especialidad en Tecnología Superior en Acuicultura, realizó con honestidad y responsabilidad esta tesis, siendo revisada, corregida y aprobada bajo mi dirección, cumpliendo con las disposiciones reglamentarias del Instituto Tecnológico Superior “Luis Arboleda Martínez”

Dra. Noelia Tourón Besada
D.N.I.: 35320405H

Firma en representación de Dra. Noelia Tourón.
Wilfrido Arguello-Guevara, Ph, D
Investigador CENAIM-ESPOL

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Angie Annabel Mendoza Moreira C.C 131712168-7, egresada de la especialidad Tecnología Superior en Acuicultura, acepto que los derechos de autoría y las publicaciones serán compartidas, la autoría le corresponde a nuestra persona y la titularidad por medio al Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas, CENAIM – ESPOL y al Instituto Tecnológico Superior “Luis Arboleda Martínez”, de acuerdo a lo que dispone la Ley de Propiedad Intelectual.

Manta, 07 de Noviembre de 2018

Atentamente.

Angie Annabel Mendoza Moreira
Autora

AUTORÍA

Angie Annabel Mendoza Moreira C.C 131712168-7, soy responsable de las ideas, doctrinas (enseñanzas) y resultados expuestos en esta Tesis de grado, y el patrimonio intelectual de la misma pertenecen al Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas, CENAIM – ESPOL y al Instituto Tecnológico Superior “Luis Arboleda Martínez”.

Angie Annabel Mendoza Moreira
Autora

DEDICATORIA

Mi gratitud primero es con Dios, aquél que guía mis pasos, y con mis padres; a quienes agradezco infinitamente por su apoyo incondicional que me demuestran diariamente.

Mis padres, personas aguerridas y luchadoras, que sin importar las dificultades buscan la forma de que no nos falte nada; mi padre, que sólo con sus ventas de helados ha conseguido llevarme hasta aquí, y por qué no agradecerle, si hace de papá y mamá en la actualidad sin desvanecer, con tal de ver alcanzar los sueños y metas de sus hijos.

El gozo es tan grande por saber que desde que nací, mis padres me dieron un don tan hermoso, me enseñaron a no decaer, a aprender a defenderme con respeto y humildad, a no desanimarme y que lo más maravilloso de la vida es amar a Dios y la familia. Siempre ser puntual, humilde, estar unidos, ayudar a las personas, no faltar al respeto, entre otros valores de vida.

Saber que desde que uno nace va desarrollando expectativas, que no es nada fácil cuando a una le arrebatan una parte de su vida; mis padres me enseñaron a no derrumbarme y a mantenerme firme. Y mucho más que no te tengo mamá, donde te encuentres estás orgullosas de mí, de ver cómo me has dejado convertida en una mujer aguerrida que se arriesga sin mirar los límites; sé que eres mi guía junto a papá, y él más que nunca me da ese apoyo tan grande. No es fácil llevar una tesis con dolor en el alma, los sentimientos se envuelven sé que uno debe de superar día tras día las consecuencias de la vida, pero lastimosamente no se puede, aquel ser que perdí fue mi madre, aquélla que me cargó en su vientre durante nueve meses, me enseñó a decir las primeras palabras, a leer y escribir, los valores cotidianos de la vida, la mejor amiga, aquélla que sin importar la hora llamaba y daba esa voz de firmeza y continuidad.

Asimismo, agradezco a todas las personas que han sido partícipes en mi vida, el agradecimiento es tan grande que sobran palabras, lo importante es que los hechos se han dado.

Gracias a todos/as por realizar junto a mí uno de los retos difíciles, que no son fáciles de vencer.

AGRADECIMIENTOS

Cada ser humano posee una historia, aunque me haya costado llegar hasta aquí, lo hice con sacrificio y esmero, aunque por cierto tiempo desmayara de dolor mi alma; lo más difícil de realizar un trabajo, es no poder contar con la voz de una madre que dé ese aliento de perseverancia y dedicación.

Cada ser humano posee sus retos, los cuales se deben superar constantemente. La tesis va dedicada a Dios, a mis Padres, Hiler Mendoza y Lilia Moreira, que sin duda alguna han visto mi desarrollo y habilidades, la constancia de que en la vida se debe de luchar por obtener un sueño y sobre todo el éxito, y es que éste solo es el principio de los logros.

Asimismo, dedico a mis hermanos Lilia e Hiler Mendoza Moreira, que cada día me dieron su voz de aliento y fortaleza; al Sr. Roque Rosado, aquél que me enseñó a no decaer y me brindó su amor minuto tras minuto a no dar un paso atrás en las batallas difíciles; a mi tía, aquélla persona que siempre ha estado junto a mí como mi segunda mamá, Natividad Delgado.

De la misma manera agradezco a la SENESCYT por haber permitido el financiamiento de la tesis a través de proyectos con el CENAIM. No obstante también les dedico esta tesis a las personas que me dieron ese voto de confianza, a mi Directora de tesis, la Dra. Noelia Tourón, mujer imprescindible de mucha paciencia y dedicación, que a pesar de la distancia siempre ha estado pendiente de mí; al Dr. Jorge Sonnenholzner, un hombre de carácter fuerte que posee amplios conocimientos, al distinguido Dr. Wilfrido Arguello Guevara por apoyarme en todo el proceso; a mi Co-Director de tesis, el Ms. Hernán Jiménez, aquél que en la distancia confió en mí y ayudó en la elaboración y

ejecución de la tesis; así mismo a la Técnico María Panchana, sin duda alguna una mujer de muchas virtudes y conocimientos; a mis queridos e ilustres auxiliares que cada día me provocaban una sonrisa en mí y sobre todo me daban ese apoyo, Alex Escalante y Ronald Aquino.

También agradezco infinitamente el apoyo brindado en un momento difícil a mis compañeros, amigos de la Espol, que sin meritar diferencias, me apoyaron en el proceso de experimentación: Johnny Núñez Mendoza, Carlos Vera Holguín, Eduardo Pizarro Mera y Nicol Andrade.

No me falta más que dedicar mi agradecimiento a aquella persona que creyó en nosotros desde el inicio de la carrera de Tecnología Superior en Acuicultura, el distinguido Dr. José Alió. Dedico esta tesis a mis compañeros, que se convirtieron en un apoyo fundamental en mis momentos más exhaustos de la vida: Michelle Gómez, Gabriela Pachay, Jonathan Moreira, Alexandra Suárez, Kelvin Chilan, Juan Muñoz, aquéllos que no derrumbaron su hombro, más bien llenaron de gozo mi corazón. A los docentes del ITSLAM, la Mg. Patricia Gallegos y Ec. Cristhian Mantuano que me dieron esa moral y la oportunidad de estar donde estoy. A los demás compañeros, familiares, docentes, amigos. Al Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas CENAIM, aquéllos que dieron la posibilidad de realizar la tesis, al Área de Microbiología por permitir el acceso a sus instalaciones para la elaboración de las dietas utilizadas en los experimentos.

CONTENIDO

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
EL PROBLEMA	3
TÍTULO DESCRIPTIVO DEL PROBLEMA	3
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. HIPÓTESIS	8
1.2. OBJETIVOS.....	8
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	8
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
2. JUSTIFICACIÓN	9
3. MARCO DE REFERENCIA	10
3.1. Descripción de la especie.....	11
3.2. Taxonomía	12
3.3. Morfología.....	12
3.3.1. Hemisferio oral	13
3.3.2. Hemisferio aboral.....	13
3.3.3. Locomoción y sistema ambulacral.....	14
3.4. Alimentación y sistema digestivo	14
3.5. Reproducción.....	15
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
4.1. Diseño experimental.....	16
4.2. Procedimiento	18
5. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	22
6. VIABILIDAD O FACTIBILIDAD	23
7. RESULTADOS.....	24
7.1. Peso	24
7.2. Talla.....	25
7.3. Consumo.....	27
7.4. Producción de heces	28
7.5. Índice gonadal.....	29
7.6. Supervivencia.....	31

8. DISCUSIÓN.....	32
9. CONCLUSIONES.....	37
10. RECOMENDACIONES.....	38
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
12. ANEXOS.....	43

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la superficie oral del erizo de mar (John, 2007).	13
Figura 2. Esquema de la región anal del erizo de mar (John, 2007)	14
Figura 3. Linternas de Aristóteles, por Angie Mendoza	15
Figura 4. Tanque “raceway” n° 1 del set n° 8 de las instalaciones del CENAIM-ESPOL.	17
Figura 5. a) Matraces con el Agar autoclavado, b) Elaboración de dietas en la campana estéril, c) Bandejas donde se preparó el alimento, d) Dieta 1: <i>Padina durvillaei</i> incluida en el Agar, e) Porciones individuales de alimento, f) Alimento distribuido en la gaveta.	19
Figura 6. Valores (Media \pm error estándar) de la evolución del peso de los erizos alimentados con los diferentes tratamientos.	25
Figura 7. Valores (Media \pm error estándar) talla mensual (mm) de erizos alimentados con los tratamientos <i>Padina durvillaei</i> , EzMate, Mezcla, Agar y Control, durante la fase experimental.	26
Figura 8. Consumo de los erizos alimentados con los diferentes tratamientos experimentales en el CENAIM-ESPOL.	27
Figura 9. Evolución de la producción de heces durante el experimento realizado en el CENAIM-ESPOL.	28
Figura 10. Valores (Media \pm error estándar) Índice gonadal obtenido en 2 tratamientos del experimento realizado en el CENAIM-ESPOL.	30
Figura 11. (%) Porcentaje de supervivencia de los erizos alimentados con los distintos tratamientos durante la fase experimental realizada en el CENAIM-ESPOL.	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición del alimento que se suministró a los erizos <i>T. depressus</i> en ensayos de crecimiento y maduración en el laboratorio.	20
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

RESUMEN

El presente estudio determinó las dietas que promueven mejor el crecimiento y la maduración gonadal del erizo de mar *Tripneustes depressus*, entre las tres dietas suministradas: Dieta-1: *Padina durvillaei*, Dieta-2: EzMate y Dieta-3: combinación de las dietas 1 y 2 (*P. durvillaei* + EzMate) y tres réplicas por tratamiento (n = 3), utilizando un diseño aleatorio simple; además se contó con un control que consistió en unidades experimentales donde los animales no recibieron alimento (C -). La cantidad de alimento suministrado a los erizos fue el equivalente al 5% de la biomasa de erizos en la gaveta.

Se obtuvo una diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los pesos y las tallas finales de los erizos con los distintos tratamientos utilizados. Los erizos de mar aumentaron su desarrollo tanto en diámetro como en peso con cada tratamiento, aunque los más efectivos en este sentido con diferencia fueron las dietas “Mezcla” y “EzMate”. En el índice gonadal no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos (ANOVA, $p < 0,05$), aunque se obtuvo el incremento más elevado de este índice con la dieta “EzMate”. Se observó un aumento gonadal considerable en los erizos alimentados con la dieta Mezcla (EzMate + *P. durvillaei*) y con la dieta EzMate, ya que este alimento es altamente nutritivo y proteico, siendo además rico en lípidos y carbohidratos. Con respecto a la supervivencia, “*Padina*” presentó un 13,3% de supervivencia final, “EzMate” y “Mezcla” se mantuvieron estables con el 100% de supervivencia, mientras que se perdieron todos los ejemplares de los tratamientos “Agar” y “Control” con el 0%. La mayoría de los estudios realizados actualmente están orientados hacia el desarrollo de dietas experimentales y la generación de tecnologías que permitan el incremento de la calidad y el tamaño de la gónada. Existe además una tendencia creciente al desarrollo de sistemas de cultivo en el medio marino de los erizos de mar.

Palabras clave: Erizos de mar *Tripneustes depressus*, dietas, crecimiento, índice gonadal, supervivencia.

ABSTRACT

The present study determined the diets that promote that best promote the growth and gonadal maturation of the sea urchin *Tripneustes depressus*, among the three diets supplied: Diet-1: *Padina durvillaei*, Diet-2: EzMate and Diet-3: combination of diets 1 and 2 (*P. durvillaei* + EzMate) and three replicates per treatment (n = 3), using a simple random design. In addition, there was a control that consisted of experimental units where the animals did not receive food (C -). The amount of food supplied to the sea urchins was equivalent to 5% of the sea urchin biomass in the drawer.

A significant difference ($p < 0.05$) was obtained between the weights and the final sizes of the sea urchins with the different treatments used. The sea urchins increased their development in both diameter and weight with each treatment, although the most effective in this regard by far were the "Mix" and "EzMate" diets. In the gonadal index there were no statistically significant differences between the different treatments (ANOVA, $p < 0.05$), although the highest increase in this index was obtained with the "EzMate" diet. A considerable gonadal increase was observed in the sea urchins fed with the Mixture diet (EzMate + *P. durvillaei*) and with the EzMate diet, since this food is highly nutritious and protein, being also rich in lipids and carbohydrates.

With respect to survival, "*Padina*" presented a 13.3% final survival, "EzMate" and "Mixture" remained stable with 100% survival, while all the specimens of the "Agar" treatments and "Control" were lost with 0% survival. The majority of the studies carried out at present are oriented towards the development of experimental diets and the generation of technologies that allow the increase of the quality and size of the gonad. There is also a growing trend towards the development of systems of sea urchin culture in the marine environment.

Key words: Sea Urchins *Tripneustes depressus*, diets, growth, gonadal index, survival.

EL PROBLEMA

El siguiente trabajo de investigación, tiene como objetivo principal desarrollar dietas que permitan promover un crecimiento o mejora específica en la maduración y las cualidades de las gónadas en el erizo de mar *Tripneustes depressus*.

TÍTULO DESCRIPTIVO DEL PROBLEMA

Para poder desarrollar el siguiente trabajo se procederá a investigar e implementar un experimento aleatorio simple, con el fin de dar solución al problema y a la vez se procederá a realizar dietas para aumentar el crecimiento tanto somático como gonadal de los erizos de mar con productos de la acuicultura.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El Instituto Tecnológico Superior “Luis Arboleda Martínez” cuenta con el apoyo del Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas, CENAIM. Por medio de ellos se brindó una oportunidad para realizar tesis de interés investigativo en diferentes áreas del centro, una de ellos fue la búsqueda una solución al problema que permita desarrollar dietas específicas para el crecimiento y el incremento del índice gonadal de los erizos de mar *Tripneustes depressus*; este tema de gran interés para el mercado internacional de equinodermos nos permitirán desarrollarnos como Tecnólogos Superiores en Acuicultura.

1. INTRODUCCIÓN

La importancia económica de los erizos de mar a nivel mundial ha aumentado debido al incremento de la demanda en las últimas décadas. Sin embargo, la captura mundial de pesca se redujo de 117.000 toneladas registradas en 1998 a 69.202 toneladas en 2014 (FAO, 2016). Esta disminución fue debida principalmente a la reducción de capturas entre grandes productores mundiales, como Chile y Estados Unidos (Keesing & Hall, 1998; FAO, 2010), con el fin de contrarrestar la sobreexplotación a la que estaban siendo sometidos.

El empobrecimiento de la salud de los ecosistemas costeros en general se incrementa por causa de la sobrepesca, que ha generado una rápida disminución de los recursos con repercusión directa sobre la sostenibilidad económica del sector pesquero. Esto ha provocado una disminución de la biodiversidad y una reducción de la seguridad alimentaria (FAO, 2016).

Los erizos de mar son un grupo de invertebrados marinos que hoy se pueden encontrar en casi todos los principales hábitats marinos, desde los polos hasta el Ecuador y desde el intermareal hasta las mayores profundidades (Hooker et al., 2005)

Las gónadas de erizo de mar se utilizan como alimento desde la época de los romanos. Algunas especies de erizos de mar se explotan comercialmente como recursos alimenticios desde el siglo XVII, siendo un recurso muy valorado, especialmente en el mercado asiático, donde las gónadas de mayor calidad son un producto “gourmet” que puede alcanzar un valor de \$300/kg (Sun and Chiang, 2015). Los principales países productores de erizos de mar son Chile, Japón, Estados Unidos, Rusia, China (debido principalmente a su volumen de cultivo) y Canadá (Gaspar, 2000). Basándose en la elevada demanda de este producto, varios países han realizado investigaciones centradas

en diseñar un incremento de su índice gonadal, generando conocimiento con importantes implicaciones en la acuicultura comercial (Sartori et al., 2016).

Ecuador es un país que cuenta con una larga tradición de comunidades costeras que viven de la pesca artesanal, desde los tiempos de la cultura de Valdivia (4500-2000 a. de C.). Entre los organismos marinos capturados tradicionalmente se encuentran diversas clases de invertebrados bentónicos como langostas, moluscos, pepinos de mar entre otros.

La acuicultura del país está dirigida en su mayor parte a la producción de camarón (*Penaeus vannamei*), por lo que se busca una diversificación de los recursos bentónicos marinos de consumo, reduciendo así la presión sobre las especies capturadas tradicionalmente e introduciendo nuevos productos en el Mercado. La posibilidad de producir otras especies de invertebrados marinos de alto valor comercial es una alternativa que permitiría nuevas aperturas en la acuicultura, tanto del Ecuador (donde actualmente no existen especies comerciales de erizo de mar) como de otros países latinoamericanos.

Por tanto, en el país se ha empezado a promover y gestionar de manera competitiva la acuicultura de nuevas especies nativas como recursos estratégicos para maricultura de repoblación de los bancos naturales sobreexplotados, proponiéndose al erizo de mar café *Tripneustes depressus* (A. Agassiz, 1863), como un buen candidato para la acuicultura de nuevas especies. Esta especie es un erizo nativo, de crecimiento rápido (alcanza un diámetro de testa de 50 mm en 6 meses), que alcanza un gran tamaño, hasta 180 mm de diámetro de testa, con una gran producción gonadal y un ciclo de vida corto (Muthiga, 2005; Lawrence, 2013).

Esta especie de erizo sería una fuente alternativa de alimento marino de alta

calidad, y la implementación de su acuicultura, así como la industria asociada a ella, constituyen actividades potencialmente rentables para los países de Latinoamérica donde se distribuye. Además, podría utilizarse para ayudar a recuperar poblaciones naturales.

Tripneustes depressus se distribuye desde Baja California, en México, hasta las Islas Lobos, en las costas de Perú, llegando a las Islas Galápagos en Ecuador, constituye unas de las especies más comunes en zonas intermareales y el litoral del archipiélago (Luna, 2000).

El cultivo exitoso de erizos de mar requiere de dietas específicas que faciliten el crecimiento tanto somático como gonadal de los mismos. Previamente a la elaboración de las dietas es necesario considerar determinados factores importantes como la estabilidad de los pellets en el agua, es decir, su capacidad para mantener la textura, componentes químicos iniciales en el agua de mar, la insolubilidad de los ingredientes, permanencia íntegra en el agua y aceptación de las dietas por parte de los erizos (Dworjanyn et al., 2007). Además, es necesario diseñar dietas equilibradas en cuanto a su aportación nutricional (proporción y composición porcentual de proteínas, lípidos e hidratos de carbono), que repercutirá en la formación del exoesqueleto del erizo y por tanto en su crecimiento, así como el incremento de su índice gonadal, mediante el aporte de sustancias de reserva (Christiansen & Siikavuopio, 2007; Ebert et al., 2018).

Las dietas suministradas a los erizos aportarán energía adicional para el crecimiento somático y gonadal de los mismos, supliendo las necesidades de nutrientes del erizo y a su vez aumentando la efectividad del desarrollo gonadal del individuo. Las dietas con un elevado porcentaje de proteínas en su composición promueven la acumulación de sustancias de reserva (lípidos y carbohidratos) en las gónadas del erizo, lo cual fomenta el crecimiento de éstas, como se validó en estudios previos (Fernández et al., 1995, 1997; Liyana-Pathirana et al., 2002; Lawrence et al., 2007). Otro

componente esencial de una dieta de engorde son los pigmentos de las gónadas (Pantazis, 2000; Symonds et al., 2007).

El objetivo principal de esta investigación fue realizar un experimento de engorde de individuos de esta especie, evaluando el efecto de tres dietas en el crecimiento somático y el desarrollo gonadal de *T. depressus*. El resultado de este estudio aportará información decisiva con vistas a un desarrollo futuro de una dieta adecuada para el engorde de gónadas del erizo de mar café y contribuirá al desarrollo de la acuicultura de esta especie y a una gestión adecuada de su pesquería, contribuyendo a diversificar la acuicultura en Ecuador y en otros países de Latinoamérica.

1.1. HIPÓTESIS

- Una dieta balanceada, diseñada específicamente para el engorde del erizo de mar *Tripneustes depressus*; promueve la maduración de las gónadas, así como el incremento en su índice gonadal, necesario para su posterior comercialización.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar dietas específicas para promover el crecimiento y la maduración gonadal en individuos adultos del erizo de mar *Tripneustes depressus*.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar el efecto de tres dietas en el crecimiento somático de adultos de erizo de mar *T. depressus*.
- Comparar el efecto de tres dietas en el incremento gonadal de adultos de erizo de mar *T. depressus*.
- Analizar el efecto de tres dietas en la supervivencia de adultos de erizo de mar *T. depressus*.

2. JUSTIFICACIÓN

El Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas, CENAIM -ESPOL, realiza investigaciones dirigidas a la mejora y el desarrollo sostenible de la acuicultura y la biodiversidad marina del Ecuador, a través del proyecto de la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología o Senescyt PIC-2014-CENAIM-002 titulado: “Desarrollo de protocolos de domesticación para el uso sostenible de nuevas especies marinas para consumo de alimentos y repoblación de bancos naturales”, el cual pretende iniciar la producción de gónadas de erizo de mar para consumo humano.

Ecuador dispone de especies nativas muy interesantes para la acuicultura dirigida a la producción de gónadas de erizo de mar, como es el erizo café *T. depressus* (Sonnenholzner et al., 2013). Realizar trabajos de investigación en temas de acuicultura con esta especie de erizo es necesario y muy interesante.

Por primera vez se han realizado estudios sobre las necesidades nutricionales de esta especie a nivel internacional. El desarrollo para la producción de gónadas, implica la propuesta de un nuevo modelo productivo que actuaría como pivote para la matriz comercial a largo plazo en industrias del país, principalmente en los sectores alimentario, medicinal-farmacéutico, cultural, ambiental y turístico (Bordbar et al., 2011; Lodeiros et al., 2016), ya que tiene una dimensión de internacionalización que incentiva la innovación, la competitividad y el desarrollo biotecnológico de la maricultura de ésta y otras especies.

3. MARCO DE REFERENCIA

La elaboración de la tesis fue ejecutada en el Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas, CENAIM. La institución está localizada en el Cantón San Pedro de la Provincia de Santa Elena. Debido a que la acuicultura del Ecuador está principalmente orientada al cultivo de camarón desde hace varias décadas, las líneas de investigación del CENAIM se han enfocado en la investigación de la especie *Penaeus vannamei*. Los tópicos que se han cubierto en las investigaciones han sido principalmente la sanidad y herramientas de diagnóstico de enfermedades del camarón, el monitoreo ambiental, el manejo del sistema de cultivo y la mejora genética (CENAIM, 2017).

El cultivo de camarón marino es hoy en día el segundo rubro en importancia económica en el Ecuador, después del petróleo. Sin embargo, las variaciones de su precio en los mercados internacionales provocan alteraciones importantes en la economía del Ecuador (CENAIM, 2017).

“Por ello, se considera que la diversificación es una estrategia fundamental para el desarrollo de la acuicultura del país, motivo por el cual también se han realizado investigaciones centradas en la producción y el cultivo de otras especies, como peces marinos y moluscos bivalvos. En la actualidad en el CENAIM se han incorporado líneas de investigación en biodiversidad marina para conocer la riqueza biológica y genética de la zona costera marina, que permitan aportar conocimientos para el manejo integrado de estos ecosistemas y desarrollar aplicaciones biotecnológicas para el aprovechamiento sostenible de estos recursos.” (CENAIM, 2017)

El objetivo de las investigaciones realizadas es el desarrollo de dietas específicas que promuevan el crecimiento y la maduración gonadal en adultos del erizo de mar *Tripneustes depressus*. Los erizos de mar constituyen una fuente de alimento desde

tiempos prehistóricos y son un modelo de investigación animal desde el siglo XIX. Actualmente se cultivan en numerosos países del mundo. La producción de biomasa de erizos de mar, especialmente el rendimiento de las gónadas, está relacionada con la cantidad y calidad de los alimentos ingeridos por los erizos.

3.1. Descripción de la especie

La principal característica de este grupo de Equinodermos es la ausencia de brazos, por lo que presentan forma globosa, ligeramente aplanada en su eje oral aboral. El nombre del grupo, Echinoidea, al que pertenecen unas 950 especies, significa "semejantes a los erizos", y esto hace referencia a las púas o espinas que presentan sobre todo su cuerpo. A pesar de tener un cuerpo casi esférico, mantienen la simetría pentámera característica de los Equinodermos. (John, 2007)

Existen tres especies del género *Tripneustes*:

- *Tripneustes gratilla* (*T. gratilla*),
- *Tripneustes ventricosus* (*T. ventricosus*),
- *Tripneustes depressus* (*T. depressus*).

Esta especie presenta la siguiente clasificación sistemática:

Reino: Animalia

Filo Echinodermata (Estrellas y erizos de mar)

Subfilo Echinozoa

Clase Echinoidea (Erizos de mar)

Subclase Euechinoidea

Infraclase Carinacae

Superorden Echinacea

Orden Camarodonta

Familia Toxopneustidae

Género *Tripneustes*

Especie *Tripneustes depressus* (Erizo café)

3.2. Taxonomía

“Las características que distinguen las especies son tan leves que probablemente sean una sola especie. *Tripneustes* es un género circuntropical que se extiende hacia las zonas subtropicales, siendo más común en aguas muy poco profundas; *T. gratilla* puede encontrarse alrededor de los 75 m de profundidad y *T. ventricosus* presenta su máxima abundancia a unos 30 m. Se observa en una gran variedad de hábitats, incluyendo sustratos con algas, sustrato de roca, arrecife de coral y arena con ripio” (John, 2007)

“La densidad de *Tripneustes* dentro de hábitats con una hidrodinámica adecuada muestra gran variabilidad. *T. gratilla* se encuentra a menudo en grupos de tres o cuatro, tocándose e incluso superpuestos. Este género presenta una maduración temprana, rápido crecimiento, alta producción gonadal, reclutamiento esporádico y corta longevidad” (John, 2007)

3.3. Morfología

Caracterizados por su simetría pentámera, los erizos de mar tienen su cuerpo cubierto de numerosas espinas móviles que les dan un aspecto un tanto peligroso. Suelen tener colores llamativos, rojos, azules, verdes, blancos, aunque también apagados (Asturnatura, 2004)

Su cuerpo esférico se puede dividir en dos hemisferios, uno oral, donde se encuentra la boca, y otro aboral, donde se encuentra el ano y el madreporito (conducto que conduce a una ampolla y a un conducto pétreo, que se extiende en sentido oral hasta un canal anular que rodea el sistema de músculos y piezas del aparato masticador) (Brunetti, 2014). El esqueleto se puede dividir radialmente en 10 partes o "gajos": cinco de ellas presentan pies ambulacrales, y se llaman áreas ambulacrales; se encuentran flanqueadas por otras cinco regiones sin pies ambulacrales, llamadas áreas

interambulacrales. Cada una de estas áreas está formada por dos filas de placas que van de polo a polo, existiendo por tanto en el esqueleto 20 filas de placas, 10 ambulacrales y 10 interambulacrales. Las placas ambulacrales se diferencian de las otras por presentar una serie de poros por donde surgen los pies ambulacrales (John, 2007). Cada uno de los dos hemisferios presenta una serie de estructuras diferentes:

3.3.1. Hemisferio oral

En este hemisferio se encuentra la boca (Fig. 1), situada en el centro de una membrana denominada “peristomial”, alrededor de la cual hay cinco pares de pies ambulacrales bucales, cortos y gruesos, y otros cinco pares de branquias ramificadas (John, 2007).

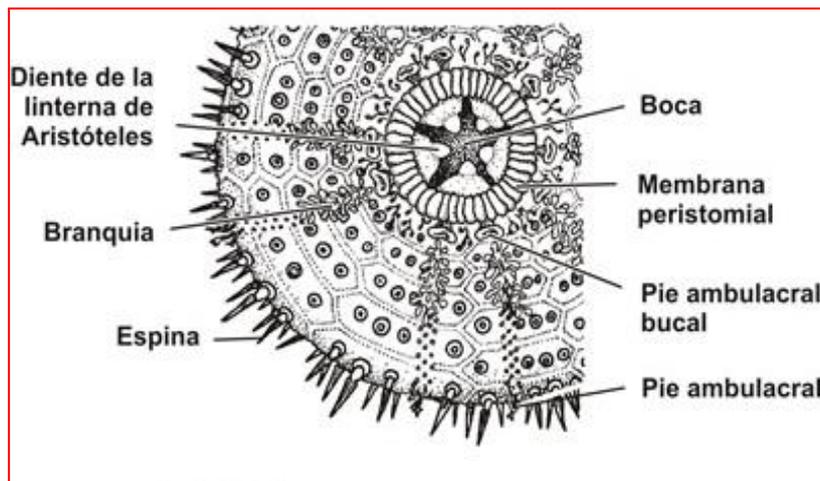


Figura 1. Esquema de la superficie oral del erizo de mar (John, 2007).

3.3.2. Hemisferio aboral

En él se encuentra la región anal (Fig. 2), llamada periprocto, que consiste en una membrana en la que se sitúan varias placas esqueléticas con diferentes funciones. Las de mayor tamaño son las placas genitales, cada una está dotada de un gonoporo (orificio por donde se expulsan los gametos al exterior) y una de ellas recibe el nombre de madreporito, al ser bastante porosa. (John, 2007)

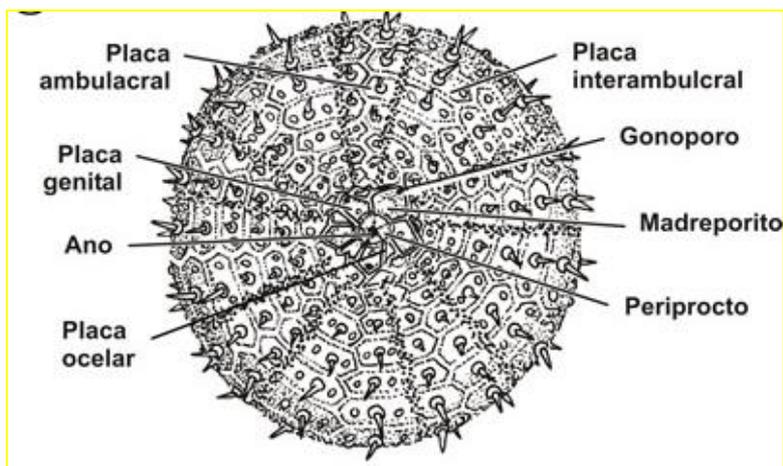


Figura 2. Esquema de la región anal del erizo de mar (John, 2007)

3.3.3. Locomoción y sistema ambulacral

La locomoción en los Equinoideos se realiza gracias a la acción de las espinas y los pies ambulacrales. Los pies actúan moviéndose de manera similar a como lo hacen en las estrellas de mar, mientras que la principal función de las espinas es levantar la zona oral del sustrato.

3.4. Alimentación y sistema digestivo

“Los erizos de mar se alimentan principalmente de algas que obtienen raspando con su aparato bucal la superficie de las rocas; de esta forma ejercen una gran presión sobre las poblaciones de algas, ya que, en su ausencia, la cobertura algal es mucho más densa. Los erizos irregulares que viven enterrados en la arena se alimentan de sedimento, cuyas partículas seleccionan mediante sus pies ambulacrales” (John, 2007).

“Los erizos regulares y los dólares de arena presentan una estructura masticadora muy especializada llamada linterna de Aristóteles (Fig. 3), que consiste en la unión de cinco piezas calcáreas denominadas pirámides, con las puntas apuntando hacia la boca. En el interior de cada una de estas piezas existe una banda calcárea alargada, cuyo extremo oral asoma por la boca y que constituye el diente; al existir cinco pirámides, hay por tanto cinco dientes. El otro extremo del diente se encuentra dentro de un saco dental

que se encarga de segregar nuevo diente para compensar el desgaste que sufre el extremo superior al raspar” (John, 2007).



Figura 3. Linternas de Aristóteles, por Angie Mendoza

3.5. Reproducción

Los sexos están separados en el erizo de mar café, pero no presentan dimorfismo externo, es decir, no es posible distinguir entre machos y hembras por su aspecto externo, a menos que se produzca un desove. Si éste es el caso, entonces el sexo se puede determinar por el color del líquido que contiene los gametos; en el caso de las hembras es por lo general naranja brillante, mientras que los machos expulsan al agua semen de color amarillo claro (Lewis, 1958). La madurez sexual se alcanza generalmente al cabo de un año de edad. La fecundación de los erizos de mar es externa, los gametos se expulsan directamente en la columna de agua de mar, donde se producen la fecundación y el desarrollo embrionario (Hyman, 1955). Las larvas de erizo de mar se desarrollan empezando por la etapa de larva prisma, formándose posteriormente larvas de 2, 4, 6 y 8 brazos hasta llegar a la fase premetamórfica. Todas las etapas de la fase larvaria son pelágicas (planctónicas), hasta la aparición del rudimento equiniano, momento en el que los tejidos de la larva se reabsorben para fijarse al sustrato (bentónica) y dar comienzo a la metamorfosis (Peña, 2010).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Diseño experimental

El experimento de alimentación de erizos juveniles de *T. depressus* se basó en el suministro de tres dietas: Dieta-1: *Padina durvillaei*, Dieta-2: EzMate (producto comercial utilizado para la maduración gonadal de camarón) y Dieta-3: combinación de las dietas 1 y 2 (*P. durvillaei* + EzMate) y tres réplicas por tratamiento (n = 3), utilizando un diseño experimental aleatorio simple. El control consistió en unidades experimentales donde los animales no recibieron alimento (C -) y se mantuvieron en un estado de inanición permanente, debido a que la fisiología de estos animales les permite adaptarse a largos periodos sin alimentarse, reduciendo al mínimo el funcionamiento de su metabolismo y entrando así en un estado de aletargamiento. Esta característica permitió cuantificar con más precisión el incremento de crecimiento de los erizos, tanto somático como gonadal, derivado de las diferentes dietas, ya que el uso del alga *Padina sp.*, y en especial del EzMate, ayuda a producir un incremento en el índice gonadal de los erizos.

Por otra parte, se tomaron medidas de las tallas y los pesos iniciales de todos los erizos, lo cual nos proporcionó información relevante sobre la fisiología de estos animales, mediante la validación de la existencia o no de una disminución de las medidas biométricas de estos equinodermos durante un periodo prolongado de inanición. Se utilizaron en total 150 erizos de mar. De éstos, 120 se introdujeron en las gavetas de alimentación (30 por tratamiento, 10 por réplica). Se estableció un control (con tres réplicas) y un factor de corrección (erizos alimentados sólo con Agar) en cada uno de los cuales se utilizaron 30 erizos de mar (10 por réplica). El factor de corrección sirvió para medir el efecto del agar sólo, como elemento ingerido, frente a las variables de las tres dietas suministradas (alga *Padina*, EzMate y combinación de ambas); por lo tanto, se

conoció el porcentaje de crecimiento producido por el Agar mediante la cuantificación del incremento de talla y peso producido en los erizos alimentados sólo con Agar. En total se distribuyeron tanques para 3 dietas + 1 control + 1 factor de corrección, todos con 3 réplicas y 10 erizos por réplica = 150 erizos. Las unidades experimentales consistieron en gavetas plásticas de 40 l de capacidad. El experimento se realizó en el tanque tipo raceway n°1 del set n° 8 de las instalaciones del CENAIM-ESPOL (Fig. 4), en condiciones de oscuridad.



Figura 4. Tanque “raceway” n° 1 del set n° 8 de las instalaciones del CENAIM-ESPOL.

Por último, se evaluaron las cualidades organolépticas de las gónadas de los erizos que las produjeron al finalizar el experimento, mediante una cata a ciegas en la que se mezclaron con otras gónadas procedentes de erizos del medio natural; de esta forma se valoró su textura, firmeza y sabor. Se utilizó una tabla Pantone (diseñada específicamente para identificar gamas de color en artes gráficas) para valorar las distintas gamas de color.

4.2. Procedimiento

Se utilizaron 150 erizos de mar *T. depressus* de la cohorte del 13 de mayo del 2017 (individuos adultos de 8 meses de edad producidos en el CENAIM-ESPOL). Se verificó que los erizos que fueron seleccionados tuviesen el mismo diámetro de testa (sin diferencias significativas entre las tallas) mediante la realización de una prueba estadística, utilizando para ello el programa **INFOSTAT**. Se colocaron al azar diez erizos en cada una de las 15 gavetas de plástico de 40 l de capacidad. Los animales permanecieron sin comer durante los tres días previos al inicio del experimento. Se ensayaron tres dietas al mismo tiempo, dos dietas simples: una especie de alga marina parda, *Padina durvillaei* (alga común y dominante del litoral rocoso de la provincia de Santa Elena) y el producto comercial EzMate (producto usado comúnmente en la acuicultura para maduración de camarones reproductores); y una dieta combinada: mezcla de las dietas 1 y 2. La preparación de las dietas se realizó en el laboratorio de microbiología del CENAIM (con el fin de elaborarlas en condiciones de esterilidad, utilizando bandejas de un grosor de 5 cm, con un ancho de 3,0 cm y 3,5 cm de largo). Durante el proceso realizado para preparar las dietas, inicialmente se autoclavaron el Agar y el agua de mar durante dos horas, procediendo después a la preparación del alimento en la cámara de flujo laminar. Una vez reposado el alimento en las bandejas, se procedía a cortar y pesar las porciones correspondientes a los erizos de cada gaveta utilizando una balanza ACJ Series, con una precisión de 0,001 g (Fig. 5). De manera metódica, los lunes, miércoles y viernes se realizaban los procesos de sifón de las gavetas, recolección de las heces y el alimento sobrante, observaciones por tratamiento, cambio de gavetas, lavado de gavetas y pesado de las porciones correspondientes antes de alimentar a los erizos de mar con las dietas asignadas a cada tratamiento.



Figura 5. a) Matraces con el Agar autoclavado, b) Elaboración de dietas en la campana estéril, c) Bandejas donde se preparó el alimento, d) Dieta 1: *Padina durvillaei* incluida en el Agar, e) Porciones individuales de alimento, f) Alimento distribuido en la gaveta.

Los erizos fueron alimentados *ad libitum* tres veces por semana durante 3 meses (se suministró una cantidad de alimento equivalente al 5% de la biomasa de los erizos de la gaveta, aproximadamente 100 g de alimento por semana y por unidad experimental).

Con el fin de estimar el consumo de algas, se hicieron los cálculos oportunos para conocer la cantidad de algas consumidas por los erizos de mar a partir del consumo mensual de cada tratamiento. La masa de algas es una estimación confiable dado que el alimento se consumió rápidamente y se reemplazó regularmente. El Factor de conversión FC se determinó como la cantidad de materia consumida a lo largo del experimento dividido por el crecimiento (g) del erizo, representado por la siguiente fórmula (Seymour et al., 2013).

$$FC = \frac{\text{Consumo del erizo}}{\text{Peso final del erizo}}$$

Las algas se recolectaron mensualmente en el sector de Ballenita, Santa Elena, y fueron transportadas al laboratorio, donde fueron lavadas varias veces con agua de mar, retirando así los sedimentos, invertebrados y plantas epífitas que pudieran tener adheridas.

El alimento fue pesado antes (en el momento de suministrarlo) y después (al ser retirado de cada unidad experimental, con lo que se estimó la tasa de consumo promedio por tratamiento. El agar se preparó a una concentración del 1% en proporción de peso del producto disuelto en agua de mar (Tabla 1).

Tabla 1: Composición del alimento que se suministró a los erizos *T. depressus* en ensayos de crecimiento y maduración en el laboratorio.

DIETAS	COMPOSICIÓN
<i>D1</i>	25 g <i>P. durvillaei</i> + 15 g Agar + 1500 ml de agua
<i>D2</i>	25g EzMate + 15 g Agar + 1500 ml agua
<i>D3</i>	25 g EzMate + 25 g de <i>Padina durvillaei</i> + 15 g de Agar + 1500 ml de agua
<i>Control 1: Inanición</i>	
<i>Control 2: Factor de corrección del agar</i>	15g agar + 1500 ml agua

Las heces producidas fueron recolectadas de cada gaveta realizando un sifón con manguera, retenidas en papel filtro y pesadas tres veces por semana, previamente a la entrega del alimento, lo cual permitió calcular la tasa de producción de heces por tratamiento, así como la cantidad de alimento ingerida por los erizos. Los erizos de mar de los controles no fueron alimentados durante el tiempo que duró el experimento. Las mediciones de diámetro de testa y peso de los erizos de mar se realizaron una vez por mes. Se midió el diámetro de testa (DT) con un calibre vernier de precisión 0,01 mm y el peso de los individuos con una balanza de marca ACJ Series con una precisión de 0,001

g. Los erizos permanecieron sin comer durante tres días antes de la toma de medidas mensual, asegurando así la evacuación completa de su contenido estomacal e intestinal.

El crecimiento se midió en los cambios de masa, gramos (g) y diámetro de testa (DT) (mm) a intervalos mensuales; y el crecimiento para ambas variables (masa y DT) se calculó como un porcentaje, durante el período de cuatro meses (masa medida en gramos; DT medida en mm) (Seymour et al., 2013).

$$\% \text{ de cambio} = \frac{\text{cambio final de erizos masa (g)}}{\text{masa inicial (g)}} \times 100$$

Se sacrificaron animales durante tres momentos del experimento: al inicio, durante el segundo mes y al terminar el experimento, con el fin de determinar el índice gonadal (IG) de los erizos en cada momento y evaluar las variaciones que se produjeron en el mismo dependiendo del tipo de alimentación suministrada a los erizos.

La supervivencia de los organismos fue calculada considerando el número inicial de los organismos como el 100% y relacionado con el total de los organismos al finalizar el periodo experimental, por medio de la ecuación:

$$\text{Supervivencia (\%)} = \frac{\text{Número final de erizos}}{\text{Número inicial de erizos}} \times 100$$

La temperatura del agua del experimento se mantuvo entre 25 y 27°C, de acuerdo con las variaciones ambientales de la zona contigua al laboratorio del CENAIM-ESPOL, y la salinidad fue del 35‰. El recambio de agua fue constante, y la tasa de aireación se mantuvo también constante, con un flujo de oxígeno de entre 6 y 7 mg/l.

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Los datos obtenidos se procesaron en hojas de cálculo Excel. Antes de realizar el análisis estadístico se verificó si los datos cumplían con los tres supuestos fundamentales de independencia, normalidad y homocedasticidad; realizando un ANOVA con los pesos y las tallas iniciales de los erizos de las gavetas para comprobar si presentan diferencias significativas entre ellos. Los datos de supervivencia e índice gonadal se expresaron como un porcentaje. El análisis de varianza se realizó para determinar el efecto principal producido por cada tratamiento en las variables de respuesta medidas (tasa de crecimiento en talla y peso, índice gonadal, tasa de consumo de algas y supervivencia). Cuando el ANOVA indicó diferencias significativas ($p < 0.05$), se realizó el análisis de comparaciones pareadas de Tukey. Las pruebas estadísticas se realizaron utilizando el programa **INFOSTAT**, software específico para análisis estadístico.

6. VIABILIDAD O FACTIBILIDAD

Este trabajo de investigación permitió desarrollar dietas que contribuirán al desarrollo somático y gonadal de los erizos de mar *Tripneustes depressus*, siendo así viable el desarrollo de un proyecto piloto que después se podrá trasladar a la escala industrial, mejorando el sustento específico en los erizos y abasteciendo los mercados de este producto mejorado, ampliando además en 1 o 2 meses el periodo de comercialización de sus gónadas.

Las gónadas de erizo de mar son muy apreciadas a nivel mundial, tanto por su sabor y alto contenido nutricional y proteico, como por sus propiedades medicinales, por lo que profundizar más sobre la alimentación y el desarrollo gonadal de los erizos constituye una investigación de interés para el Ecuador.

La factibilidad de este proyecto quedó demostrada con los experimentos realizados. Durante todo el proceso se contó con la ayuda del personal del CENAIM, así como con una sala experimental con todos los implementos y, sobre todo, con los ejemplares de erizo necesarios para el proceso experimental.

7. RESULTADOS

7.1. Peso

Los pesos de los erizos alimentados con las distintas dietas mostraron variaciones claras a lo largo del periodo experimental (Fig. 6). Durante el primer mes del experimento (enero 2018) se obtuvieron los siguientes datos de peso medio:

Padina durvillaei = 16,2 g; EzMate= 16,2 g; Mezcla = 15,3 g; Agar = 15,9 g y Control = 15,2 g, no apareciendo una diferencia estadística significativa entre estos valores.

Como podemos ver en la Figura 6, durante el tercer mes de experimento se observa una diferenciación clara de los valores de peso de los erizos, obteniéndose el valor más alto de peso en el grupo de erizos alimentados con la dieta Mezcla, seguido de los erizos alimentados con EzMate, mientras que los erizos alimentados con las dietas *Padina* y Agar simplemente mantienen su peso en valores similares a los iniciales, sin producirse variaciones significativas. Esta tendencia se mantiene hasta el final del experimento, siendo los datos finales de peso de los distintos grupos de alimentación:

Mezcla = (60,27 ± 2,90 g; n= 21); EzMate = (38,98 ± 2,90 g; n=21); *Padina* = (17,59 ± 3,22 g; n= 17) y (Agar = 17,10 ± 3,22 g; n= 4), (F=48,77; P= < 0,001) mostrando diferencias significativas entre los tratamientos (p < 0,05).

Se obtuvieron los siguientes incrementos de peso con cada tratamiento al final del experimento:

Padina durvillaei = 7,9 %; EzMate= 141,1 %; Mezcla = 293,3%; Agar = 7,3% y Control = 2,5%.

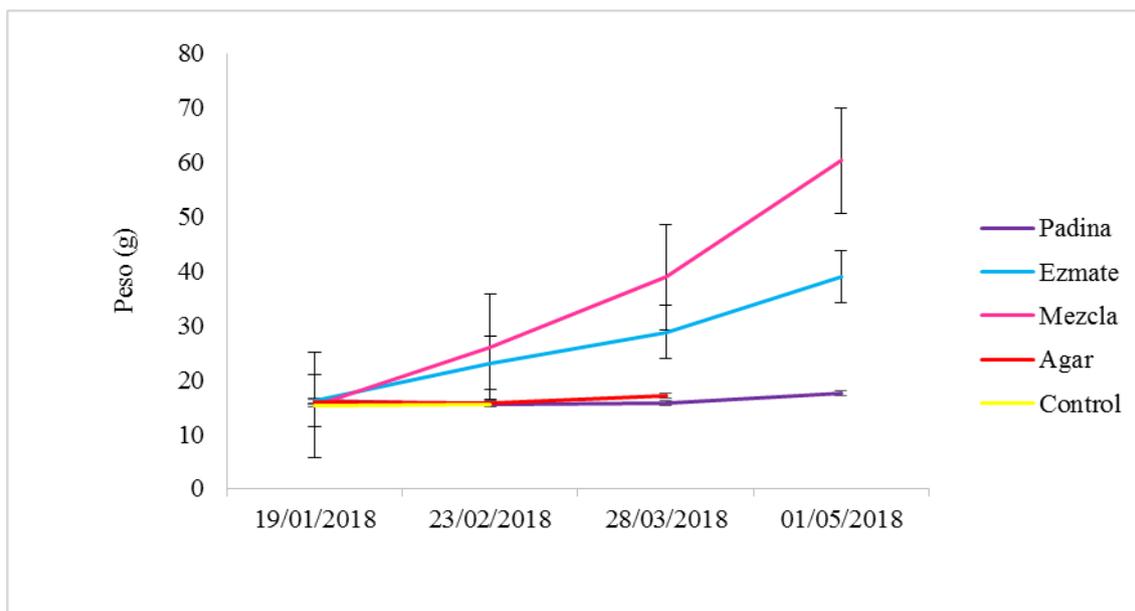


Figura 6. Valores (Media \pm error estándar) de la evolución del peso de los erizos alimentados con los diferentes tratamientos.

Los análisis estadísticos muestran que existe una diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los pesos obtenidos al final del experimento con los distintos tratamientos utilizados. Se realizó un procedimiento de comparación múltiple para determinar qué dietas son significativamente diferentes de las otras. En las dietas “Mezcla” e “EzMate” se obtuvo un incremento significativo en el peso de los erizos alimentados con estos tratamientos, en comparación con el incremento de peso que se produce en los erizos alimentados con una dieta monoalgal.

7.2. Talla

La (Fig. 7) muestra los valores de diámetro de los erizos de mar *Tripneustes depressus* durante la fase experimental. Partimos de individuos de la misma talla, sin diferencias significativas entre las tallas iniciales.

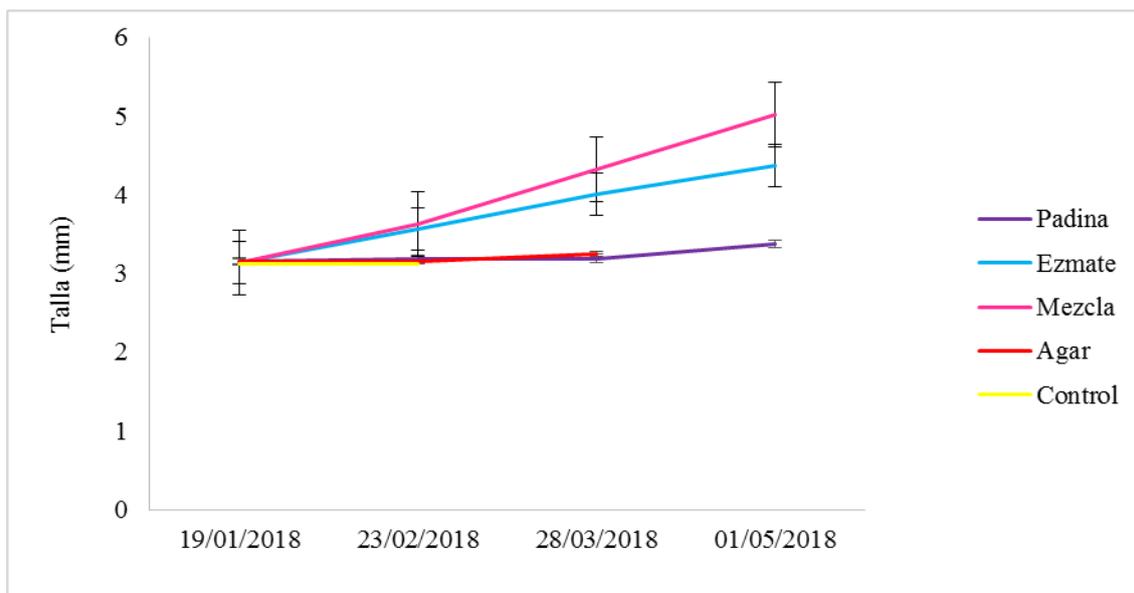


Figura 7. Valores (Media \pm error estándar) talla mensual (mm) de erizos alimentados con los tratamientos *Padina durvillaei*, EzMate, Mezcla, Agar y Control, durante la fase experimental.

En todos los tratamientos se midió mensualmente el diámetro de los erizos durante la fase del experimento. Desde el inicio del periodo experimental, los erizos de mar *Tripneustes depressus* mostraron aumentos apreciables en su crecimiento hasta el final del experimento, obteniéndose los siguientes valores finales de talla por tratamiento:

Padina durvillaei = (3,36 \pm 0,11 mm; n=17) con un incremento total del diámetro de los erizos del 7 %; EzMate = (4,37 \pm 0,10 mm; n=21) con un incremento total del diámetro de los erizos del 39%; Mezcla = (5,02 \pm 0,10 mm; n=21) con un incremento total del diámetro de los erizos del 60%, ($p < 0,05$), siendo significativamente diferentes los incrementos de talla entre los tratamientos, mientras que en los tratamientos Agar y Control sólo se registraron datos hasta el mes de Marzo por motivos de mortalidad, obteniéndose los siguientes valores: Agar = (3,25 \pm 0,11 mm; n=4) con un incremento total del diámetro de los erizos del 3%; y Control = (3,13 \pm 0,03 mm; n=3) con un incremento total del diámetro de los erizos del 0%. Se puede observar con claridad que con el transcurrir de los días, el desarrollo de los erizos por tratamiento se va

diferenciando, existiendo estadísticamente diferencias significativas entre cualquier par de medias, dentro del intervalo de confianza del 95,0%.

7.3. Consumo

El consumo se calculó en función de la densidad de erizos de cada gaveta (Fig. 8).

Padina durvillaei obtuvo un consumo inicial de 107 g; EzMate-127 g; Mezcla-128 g y Agar-101 g. En el segundo mes los consumos obtenidos fueron: *Padina durvillaei*-127 g; EzMate-140 g; Mezcla-129 g y Agar-21g. El consumo final obtenido fue: *Padina durvillaei*-101 g; EzMate-112,09 g; Mezcla-73,28 g y Agar-5,21g.

Los erizos de mar de cada tratamiento aumentaron su desarrollo tanto en longitud como en peso, requiriendo a la vez más proteínas, a pesar de que sufrieron adversidades en el transcurso del experimento, como la presencia de marea roja y un Bloom de macroalgas tóxicas.

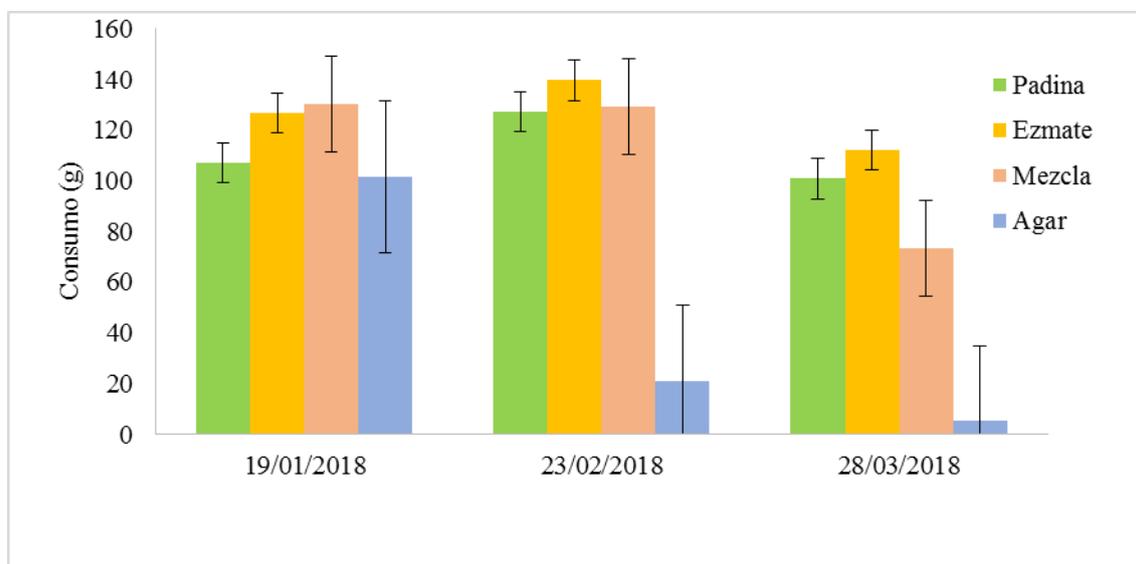


Figura 8. Consumo de los erizos alimentados con los diferentes tratamientos experimentales en el CENAIM-ESPOL.

Podemos apreciar en la Fig. 8, que en el caso de la dieta *Padina*, el consumo se conserva constante, ya que algunos erizos murieron. En el caso de las dietas EzMate y Mezcla el consumo muestra un leve aumento en la mitad del experimento y una ligera

disminución al final, reduciéndose por motivos de la disección de algunos ejemplares con respecto a los valores iniciales, y en el caso de la dieta de Agar se observa una disminución continua en el consumo hasta que finalmente se reduce a cero.

El incremento de consumo final de los erizos del experimento dio los siguientes valores:

Padina durvillaei 5,7%; EzMate 11,5%; Mezcla 43,7% y Agar 1,9%.

7.4. Producción de heces

La (Fig. 9) nos muestra cómo evolucionó la producción de heces de los erizos durante el transcurso del experimento por grupo de alimentación, en el caso del Control evidentemente no se produjeron heces al no consumir alimento los erizos.

Durante el proceso que se llevó a cabo en la fase experimental, la producción de heces al final del experimento fue de:

Padina durvillaei = 80,73 g; EzMate= 121,31 g; Mezcla = 98,82 g; y Agar = 7,37 g.

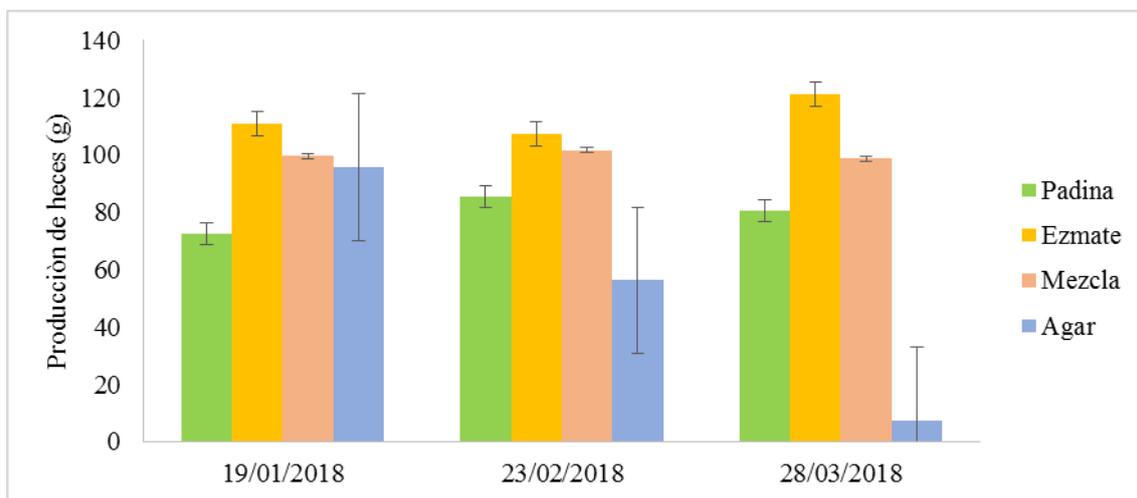


Figura 9. Evolución de la producción de heces durante el experimento realizado en el CENAIM-ESPOL.

Podemos observar en la Fig. 9 que en el caso de la dieta Mezcla, la producción de heces se mantiene en niveles más o menos constantes a lo largo del experimento, en el caso de las dietas EzMate y *Padina* esta producción de heces presenta un ligero aumento

al final del experimento con respecto a los valores iniciales, y en el caso de la dieta de Agar se observa una disminución continua en la producción de heces hasta que finalmente se reduce a cero.

El incremento en la producción de heces con cada dieta fue el siguiente: *Padina durvillaei* -11,2%, EzMate - 9,4%, Mezcla - 0,8%, Agar – -41,3%.

7.5. Índice gonadal

Al inicio del experimento (mes de enero de 2018) se diseccionaron 10 erizos para ver si contaban con gónadas formadas, resultando que todavía no se observaban porque no cumplían las condiciones adecuadas para el comienzo de una maduración gonadal.

Con el fin de determinar el índice gonadal de los erizos, éste se midió al inicio, a la mitad y al final del experimento (Fig.10), y se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{IGS (\%)} = \text{Peso de las gónadas (g)} / \text{peso total (g)} * 100.$$

En el mes de marzo de 2018 se diseccionaron tres erizos por tratamiento, observándose un incipiente índice gonadal, que presentó los siguientes valores:

EzMate = 1,21 % ≤ Mezcla = 1,25 % (Fig. 10) siendo significativamente diferentes a los que presentaban los erizos alimentados con las otras dietas.

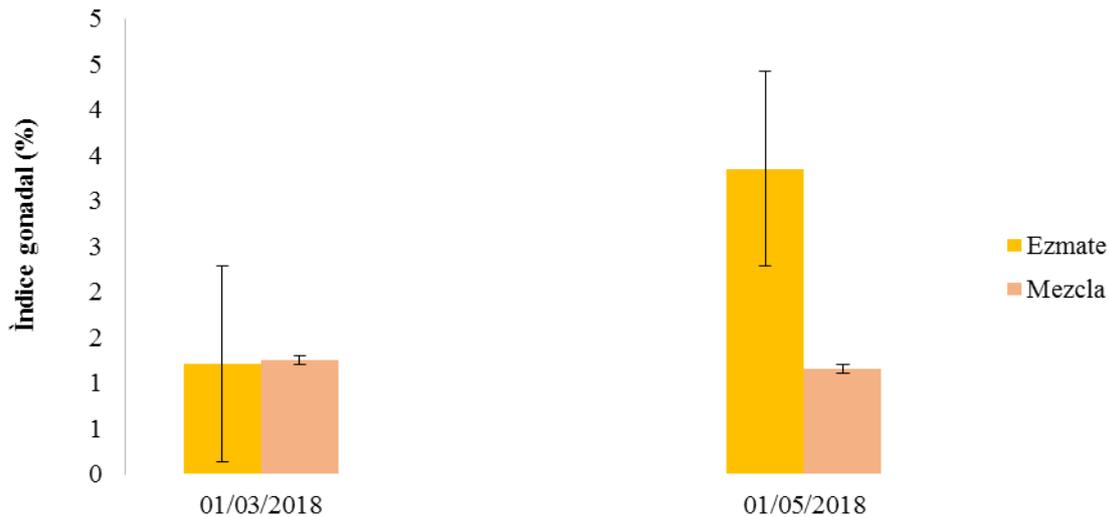


Figura 10. Valores (Media \pm error estándar) Índice gonadal obtenido en 2 tratamientos del experimento realizado en el CENAIM-ESPOL.

En los erizos alimentados con la dieta *Padina durvillaei* y el Agar no se observó una formación de gónadas. En el mes de mayo de 2018 (finalizado el experimento) se diseccionaron los 7 erizos restantes, y al final del experimento, se obtuvieron los siguientes valores finales del índice gonadal:

En el tratamiento *Padina durvillaei* no se observó formación de gónadas; los erizos alimentados con EzMate presentaron el siguiente índice gonadal: IG= (3,35 \pm 0,37 %; n=21); Mezcla = (1,16 \pm 0,38 %; n=20), (F=17,01; P=0,0002). Siendo significativamente diferente entre tratamientos. El incremento en el IG al final del experimento con las distintas dietas fue el siguiente: EzMate - 177,0 %; Mezcla - 7,66 %. El tratamiento EzMate produjo un incremento significativo en el índice gonadal de los erizos, mientras que en el caso de la dieta Mezcla no se produjo el mismo incremento porque en el momento de la disección los erizos desovaron, no logrando tener los valores necesarios con respecto al resto de dietas suministradas en este experimento. Las gónadas de los erizos alimentados con EzMate presentaron mejor sabor y textura que las de los

erizos alimentados con “Mezcla” en una cata a ciegas, que se realizó el día 01-05-2018 entre el personal del CENAIM-ESPOL.

7.6. Supervivencia

Como se puede observar en la Fig. 11, durante el mes de febrero de 2018 los erizos no presentaron inconvenientes, manteniéndose el 100% de supervivencia de los individuos. En el mes de marzo se produjo un episodio de Marea Roja, lo que produjo un aumento del estrés en los individuos del experimento, así como mortalidad producida por la concentración de toxina en el agua y la falta de alimento. La supervivencia después de este episodio fue la siguiente:

“Padina” presentó un 87% de supervivencia, “EzMate” y “Mezcla” se mantuvieron estables con el 100% de supervivencia, mientras que se perdieron todos los ejemplares de los tratamientos “Agar” y “Control” el día 28 de marzo del 2018. En el mes de mayo se mantuvo el porcentaje de supervivencia igual que en marzo, obteniéndose un porcentaje final de supervivencia de: *Padina* 13,3 %; *EzMate* 100 %, *Mezcla* 100 %, *Agar* 0% y *Control* 0%.

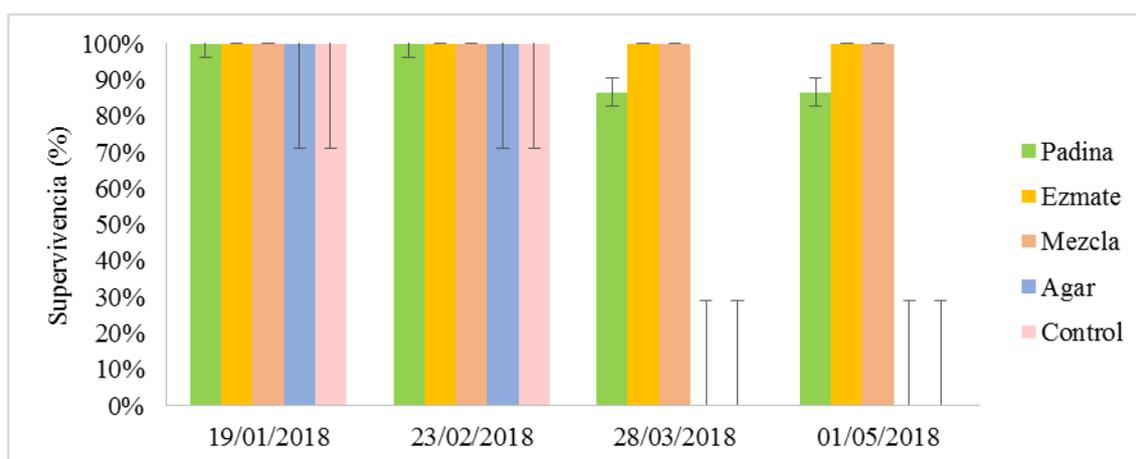


Figura 11. (%) Porcentaje de supervivencia de los erizos alimentados con los distintos tratamientos durante la fase experimental realizada en el CENAIM-ESPOL.

8. DISCUSIÓN

Para establecer dietas que promuevan el crecimiento y la maduración gonadal en individuos adultos del erizo de mar *Tripneustes depressus*, es importante comparar el efecto de las mismas en el crecimiento somático y a la vez en el crecimiento gonadal de los erizos; para ello es necesario saber los pesos, tallas y supervivencias alcanzadas en dicho experimento, lo cual proveerá una importante información para construir estrategias más eficientes de cultivo y engorde de esta especie.

Durante la fase experimental de la presente investigación con los erizos de mar *Tripneustes depressus* se obtuvo un incremento máximo de peso del 90,4% y un incremento máximo de talla del 21,9%. Un estudio previo que analizó la relación diámetro-peso de erizos de mar, se ha comprobado que existe una relación biométrica entre la talla (diámetro) y la altura del erizo (Gutiérrez y Otsu, 1975).

Con respecto al diámetro alcanzado del erizo de mar *T. depressus* en el experimento, es de 4 a 5 cm, sólo en crecimiento y masa calcárea. Un resultado similar fue observado por Eckert (1998) en el desarrollo, el crecimiento y la morfología del erizo de mar *Diadema antillarum* Philippi en Florida.

La acumulación de sustancias de reserva en la gónada del erizo de mar *T. depressus* necesita de múltiples niveles de acumulación somática, requisitos que cumple a la perfección la dieta experimental de EzMate, que aporta mayor concentración de sustancias de reserva a las gónadas de los erizos, promoviendo la eficiencia de la maduración, la inmunidad y la supervivencia, dado que su formulación es balanceada desde el punto de vista nutritivo y altamente digerible, compuesta de proteínas marinas, proteínas vegetales (incluidas algas), levadura, aceites de pescado y vegetales, premezclas de minerales y vitaminas, antioxidantes, pigmentos y aglutinantes entre otros; es

así que las gónadas de los erizos alimentados con esta dieta presentan un sabor exquisito, así como una textura y coloración muy apetecibles. Resultados similares fueron obtenidos por (Hávardsson et al., 1999) que descubrieron que los erizos de mar alimentados con astaxantina sintética (en pequeñas cantidades) mostraban un aumento en la concentración de gónadas, siendo suministrada en cantidades menores a las utilizadas para las dietas del experimento efectuado en el CENAIM-ESPOL.

Los estudios realizados de caracterización histológica gonadal reflejan fluctuaciones en el ciclo de desarrollo gonadal de *Tripneustes depressus*. En el mes de febrero se observaron valores altos del IG que no correspondieron a etapas de madurez gonadal, sino al incremento en su volumen debido a la presencia de material nutritivo, fagocitos y células granulares, no encontrándose en época de desove, dado que estas especies no presentan un ciclo anual concreto, sino que están fuertemente influenciadas por la dinámica oceánica de vientos y corrientes, estrategia que ayuda a garantizar su supervivencia.

En relación a su alimentación, estudios realizados por González-Peláez (2001) reportaron grandes cantidades de algas carnosas en el estómago de los erizos durante todo el año, y mencionan que los organismos de *T. depressus* presentaron estómagos siempre llenos de estas algas en la localidad de Punta Arena de la Ventana, Baja California Sur, México.

La investigación realizada en CENAIM-ESPOL, provincia de Santa Elena, no produjo resultados similares, ya que los erizos presentan un descenso en el consumo de comida al cabo de cierto tiempo de ser alimentados, una vez que van adquiriendo reservas alimenticias y las van almacenando en el tejido gonadal. Kenner y Lares (1991) pudieron generar información de que las gónadas también sirven como reserva energética, por lo que el índice gonadal también refleja la condición del organismo, manteniendo altos

índices gonádicos fuera de la temporada reproductiva debido a la acumulación de sustancias de reserva en las células de almacenamiento, donde se almacenan nutrientes antes del inicio del proceso reproductivo (Kelly 2000, Unuma & Walker, 2009).

Investigaciones realizadas por Zárate et al., (2016) reflejaron que los erizos de mar *Arbacia dufresnii* alimentados con dietas artificiales presentaban un 20% más de ganancia del peso corporal, como resultado de un aumento en el tejido tanto somático como gonadal. Los individuos alimentados mostraron un aumento notable en la producción de biomasa. La composición bioquímica y celular de las gónadas indica que al erizo de mar *A. dufresnii* alimentado con una dieta altamente nutritiva, es capaz de asimilar nutrientes con una alta eficiencia y produce un aumento en el crecimiento de las gónadas. Contradiendo a (Zárate et al., 2016) en el estudio ejecutado, los erizos de mar *T. depressus* aumentan de peso, pero su índice gonadal no aumenta; los erizos que se mantuvieron con alimentación sí mostraron producción gonadal pero no en todas las dietas, en el caso del alga café *Padina durvillaei* se produjo un crecimiento somático de los erizos, aunque no aumentó su índice gonadal.

Se observó un aumento gonadal considerable en los erizos alimentados con la dieta Mezcla (EzMate + *P. durvillaei*) y con la dieta EzMate, ya que este alimento es altamente nutritivo y proteico, siendo además rico en lípidos y carbohidratos.

La mayoría de los estudios realizados actualmente están orientados hacia el desarrollo de dietas experimentales y la generación de tecnologías que permitan el incremento de la calidad y el tamaño de la gónada. Existe además una tendencia creciente al desarrollo de sistemas de cultivo en el medio marino de esta especie.

Con la dieta *P. durvillaei* se obtuvo el 87% de supervivencia. La mortalidad se debió a que en las costas de la provincia de Santa Elena (pueblo de San Pedro de

Manglaralto) se produjeron mareas rojas, que causaron a la vez manchas verdes en los caparazones de los erizos interna y externamente, así como en las espinas, provocando la aparición de agujeros y la muerte de los erizos en el transcurso de los días. En el caso de las dietas EzMate y Mezcla se mantuvo un 100% de supervivencia, ya que al ser alimentos balanceados en nutrientes aportaron las defensas necesarias para sobrevivir a las toxinas. En el caso de la dieta de Agar los erizos murieron debido a sus lesiones en el tegumento (Bakun, 1996); que los animales que estaban infectados dentro de la gaveta murieran seguidos de las réplicas, se debe a que el Agar sólo actuaba como un factor de corrección que permitía que los erizos se mantuvieran vivos un determinado tiempo. Los erizos de mar *T. depressus* que se mantuvieron en inanición murieron en dos meses y medio debido a que no tenían aporte de nutrientes, provocando la muerte de un individuo por día y a la vez la pérdida de las espinas y el agotamiento calcáreo, presentando heridas mayores en la membrana (Bakun, 1996).

Las tasas de supervivencia fueron iguales o superiores a las de los individuos de *T. depressus* de tamaño similar alimentados con dietas naturales o elaboradas.

Estudios anteriores demuestran que las dietas formuladas pueden apoyar la supervivencia y el crecimiento de juveniles de otra especie de erizo de mar, *L. variegatus* (Watts et al., 2013).

Los estudios realizados anteriormente sugieren que las dietas elaboradas con un elevado porcentaje de proteína y ricas en nutrientes permiten mejorar la madurez sexual de los erizos, e incrementar así el IG a un tamaño mucho mayor al reportado en erizos del medio natural (Watts et al., 2013). El crecimiento somático aún no se ha cuantificado, pero será de importancia para su consideración en la acuicultura comercial de erizo de mar (Lawrence, 2000). La investigación realizada en CENAIM-ESPOL aporta información muy interesante para su aplicación a nivel de la acuicultura industrial, porque

con el desarrollo de las nuevas dietas podremos suplementar erizos para cultivos intensivos y comerciales, aportando biodiversidad e impulsando económicamente al país.

9. CONCLUSIONES

- La dieta “Mezcla” diseñada para este experimento produjo un importante incremento tanto del peso (293,3%) como de la talla (60%) de los erizos, en un periodo de alimentación de 4 meses.
- El consumo más elevado se obtuvo en el grupo experimental alimentado con EzMate, probablemente porque al ser un alimento menos nutritivo que la dieta “Mezcla”, los erizos necesitan ingerir una cantidad mayor de este alimento para obtener la misma cantidad de nutrientes.
- La producción de heces más elevada se produjo con la dieta de “Agar”, debido al pobre aporte nutricional de esta dieta, lo que produce que casi el total sean sustancias de deshecho; se observa lo contrario en el caso de la dieta “Mezcla”.
- El mayor incremento del índice gonadal se obtuvo en los erizos alimentados con la dieta “EzMate”, ya que es un producto diseñado específicamente para la maduración gonadal del camarón.
- Las gónadas de los erizos alimentados con la dieta EzMate presentaron unas características organolépticas (sabor, textura, color, etc.) muy buenas, indiferenciables de las que presentan los erizos del medio natural.
- La supervivencia de los erizos del tratamiento “Control” durante un periodo de 75 días sin alimento aporta información valiosa sobre la resistencia a la inanición de esta especie.
- Los resultados de esta investigación nos inducen a creer que, suministrando una dieta balanceada en nutrientes y rica en proteínas, se podría promover un incremento considerable en el índice gonadal de los erizos, ampliando así el impacto comercial de la venta de las gónadas, así como su periodo de comercialización.

10. RECOMENDACIONES

En Ecuador es interesante cómo a los estudiantes nos dan la capacidad de poder realizar nuevas investigaciones y de poder implementarlas en futuras estrategias industriales que sirvan como pivote productivo del país.

Sería necesario el desarrollo de un experimento más prolongado en el tiempo (unos 6 meses) lo cual nos permitiría obtener resultados aplicables al desarrollo de un proyecto piloto a nivel industrial.

Cuando se disponga de un proyecto de investigación en la materia, se debe de contar con una buena ventilación de las áreas de cultivo con el fin de evitar posibles transmisiones de enfermedades. Es necesario además diseñar un alimento que tenga una buena compactación, con el fin de que le permita mantenerse íntegro el mayor tiempo posible en el agua de mar.

Se debe contar con más reservorios de agua para prevenir las dificultades de contaminación que provocarían fenómenos como la marea roja entre otros. También se debe contar con los equipos apropiados para esterilizar los materiales utilizados para el experimento, ya que se puede efectuar un episodio de contaminación bacteriana. Es indispensable también obtener productos químicos más suaves para poder desinfectar las áreas utilizadas en el momento que se termine el experimento efectuado.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bakun, A. (1996). Patterns in the Ocean. Ocean processes and marine population dynamics. California Sea Grant College System/NOAA/Centro de investigaciones Biologicas del Noroeste, La Paz, Mexico. 233pp., ISBN 1-888691-01-8.
- Bordbar S, Anwar F, Saari N (2011) High-value components and bioactives from sea cucumbers for functional foods—A review. *Mar Drugs* 9: 1761–1805.
- Christiansen., J.S.; Siikavuopio, S.I. (2007). The relationship between feed intake and gonad growth of single and stocked green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*) in a raceway culture. *Aquaculture*, 262:163-167.
- Dworjanyn, S. A.; Pirozzi, I.; Liu, W. (2007). The effect of the addition of algae feeding stimulants to artificial diets for the sea urchin *Tripneustes gratilla*. *Aquaculture*, 273:624-633
- Ebert, T.A., Barr, L.M., Bodkin, J.L., Burcham, D., Bureau, D., Carson, H.S., Caruso, N.L., Caselle, J.E., Claisse, J.T., Clemente, S., Davis, K., Detwiler, P.M., Dixon, J.D., Duggins, D.O., Engle, J.M., Estes, J.A., Groth, S.D., Grupe, B.M., Halmay, P., Hebert, K.P., Hernández, J.C., Jurgens, L.J., Kalvass, P.E., Kenner, M.C., Konar, B., Kushner, D.J., Lee, L.C., Leighton, D.L., Montaña-Moctezuma, G., Munk, J.E., Olguin, I., Palleiro, J.S., Parker, D.O., Pearse, J.S., Pondella, D.J., Rogers-Bennett, L., Schroeter, S.C., Shelton, A.O., Sonnenholzner, J.I., Taniguchi, I.K., VanBlaricom, G.R., Watson, J.C., Weitzman, B.P., Williams, J.P., Yakimishyn, J., Zhang, Z., 2018. Size, growth, and density data for shallow-water sea urchins from México to the Aleutian Islands, Alaska, 1956–2016. *Ecology* 99, 761.
- Eckert, G.L. (1998) Larval development, growth and morphology of the sea urchin *Diadema antillarum*. *Bulletin of Marine Science*, 63 (2): 443-451.
- FAO, 2016. FAO yearbook. In: *Fishery and Aquaculture Statistics*. 2014. Rome, Italy.
- Fernandez, C., Dombrowski, E., Caltagirone, A. (1995). Gonadic growth of adult sea urchin *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) in rearing: the effect of different diet type. In: Emson, R., Smith, A., Campbell, A. (Eds). *Echinoderms research*. A.A. Balkema, Rotterdam: 269–275.
- Fernandez, C. (1997). Effect of diet on the biochemical composition of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) under natural and rearing conditions (effect of diet on biochemical composition of urchins). *Comp. Biochem. Physiol.*, 118A (4): 1377-1384.
- Fernández, JI, Pathirana, A. (2002) Growth rate of adult *Paracentrotus lividus* in a lagoon environment: the effect of different diet types. In: B. David, A. Guille, J.P. Féral

- & M. Roux (Eds.). *Echinoderms through time*. Rotterdam: Balkema: 655-660. 1995, 1997
- Gaspar, A.G. (2000). Abundancia de *Lytechinus variegatus* (Echinoidea: Toxopneustidea) en la Isla de Cubagua, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 48 (1), 125-131.
- González-Peláez, S. S. (2001) Biología poblacional del erizo café *Tripneustes depressus* (A. Agassiz). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California S.
- Gutiérrez, J. & Otsu, M. (1975) Periodicidad de las variaciones biométricas de *Loxechinus albus* Molina. *Revista de Biología Marina*. Valparaíso 15(2):179-199.
- Hávardsson, B; Imsland, AK; Christiansen, R. (1999 a) Periodicidad en las variaciones biométricas de *Loxechinus albidus* Molina. *Rev. Biol. Mar.* 15: 179-199.
- Hávardsson, B; Imsland, AK; Christiansen, R. (1999 b) Efecto de la astaxantina en la alimentación y ambiental la temperatura sobre la concentración de carotenoides en las gónadas de erizo de mar verde droebachiensis *Strongylocentrotus Müller*. *J Aquac Mundial. Soc.*, 30, 208-218.
- Herrero, M. (2015) Population density and spatial distribution of sea urchins (Echinodermata: Echinoidea) at Socorro island, Revillagigedo archipelago, Mexico. *Bología tropical*, 63: 221-232.
- Hooker, Y., Solis-Marin, F. A., Miguel, L. (2005) Equinodermos de las Islas Lobos de Fuera (Lambayeque Perú). *Revista Peruana de Biología*, 12 (1), 77-82.
- Hyman, L. (1955) Los invertebrados: Echinodermata. Vol. IV. Nueva York, EE.UU., McGraw-Hill Book. Co. Inc. 763 pp.
- Kelly, M. S. (2000). The reproductive cycle of the sea urchin *Psammechinus miliaris* (Echinodermata: Echinoidea) in a Scottish sea loch. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 80: 909-919.
- Keesing, J.K.; Hall, K.C. (1998). Review of harvests and status of world sea urchin fisheries points to opportunities for aquaculture. *J. Shellfish Res.*, 17: 1597-1604.
- Keener, M.C. & Lares, M.T. (1991) Size at first reproduction of the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* in a central California kelp forest. *Marine Ecology Progress Series Oldendorf*, /6: 303-306.
- Lawrence, J.M. (2000) Estado de importancia y las necesidades de investigación futuras de alimentos formulados para erizos de mar acuicultura. Inc; Lancaster, PA, EEUU.: 2004. p. 275-283.
- Lawrence, J. M. 2007. Edible sea urchins: Use and life-history strategies. 1-6. En: Lawrence, J. M. (ed). *Edible sea urchins: Biology and ecology*. Londres: Academic Press.

- Lawrence, J.M. (2013) Chapter 2: sea urchin life history strategies. In: Lawrence, J.M. (Ed.), *Sea Urchins: Biology and Ecology*. Elsevier B.V., pp. 15–23.
- Lewis, J.B., (1958) La biología del erizo de mar tropical *Tripneustes esculentus* Leske en Barbados. Indias Occidentales Británicas. *Canadian Journal of Zoology*, 36: 607-621.
- Liyana-Pathirana, C., Shahidi, F. & Whittick, A. (2002) The effect of an artificial diet on a biochemical composition of the gonads of the sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*). *Food Chemistry*, 79 (4): 461-472.
- Lodeiros, C. 2016. Estación hidrobiológica de Turpialito del Instituto Oceanográfico de Venezuela de la Universidad de Oriente como centro de monitoreo ambiental y producción de semillas de moluscos bivalvos, especie objetivo: ostra perla *Pinctada imbricata*. Informe Técnico Final, proyecto UDO-FONACIT 2011000344, 41 pp.
- López, I. K. (2017). Ciclo reproductivo de *Tripneustes depressus* (A. Agassiz, 1863) (Echinodermata: echinoidea) en Punta Arena de la Ventana, Baja California Sur México). Universidad Autónoma de Baja California Sur (pág. 3).
- Luna, S. (2000). *Distribución poblacional y ciclo reproductivo del erizo de mar blanco Tripneustes depressus (Echinodermata: Echinoidea) en las Islas Galápagos*. Quito, Ecuador. Tesis doctoral
- Muthiga, N.A., Jaccarini, V., (2005). Effects of seasonality and population density on the reproduction of the Indo-Pacific echinoid *Echinometra mathaei* in Kenyan coral reef lagoons. *Mar. Biol.* 146, 445–453
- Pantazis, P.A., Kelly, M.S., Connolly, J.G., Black, D. (2000). Effect of artificial diets on growth, lipid utilization, and gonad biochemistry in the adult sea urchin *Psammechinus miliaris*. *J. Shell. Res.*, 19 (2): 995-1001.
- Peña, M. (2010). Biología y manejo de pesca de los URCHIN WHITE SEA, *Tripneustes ventricosus*, en el Continente Oriental. *Circular de Pesca y Acuicultura de la FAO N ° 1056*, 12-13-14.
- Sartori D., Pellegrin D., Macchia S., Gaion, A. (2016) Can echinoculture be a feasible and effective activity? Analysis of fast reliable breeding conditions to promote gonadal growth and sexual maturation in *Paracentrotus lividus*. *Aquaculture*, 451:39-46.
- Seymour, S., Paulo, NA, Dworjanyn, SA, & de Nys, R. (2013). Preferencia y rendimiento alimentario en el erizo de mar tropical *Tripneustes gratilla*. *Acuicultura*, 400, 6–13.
- Sonnenholzner, J., Brandt, M., Francisco, V., Hearn, A., Luzuriaga y Navarro, J.C. (2013) Echinoderms of Ecuador. In: Alvarado, J.J., Solís-Marín, F.A. (Eds.), *Echinoderm Research and Diversity in Latin America*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 183–233 (Chapter 6).
- Sun, J., Chiang, F.S., 2015. Chapter 2: Use and exploitation of sea urchins. In: Brown,

N.P., Eddy, S.D. (Eds.), Echinoderm Aquaculture. J. Wiley & Sons, Inc., pp. 25–45 Published.

Symonds, RC, Kelly MS, Caris- Veyrat C, Young AJ. (2007). Carotenoid profiles of two echinoids from central Greece, *Psammechinus microtuberculatus* and *Echinus esculentus*. *J. World Aquaculture Society*, 37 (3): 339-344.

Unuma, T., Walker, C.W., 2009. Relationship between gametogenesis and food quality in sea urchin gonads. Pp 45–54 in Aquaculture Technologies for Invertebrates. Proc. Thirty-sixth U.S.–Japan Aquacul. Panel Symp. NOAA Technical Memorandum NMFS-F/SPO-99.

Watts, S.A., Lawrence, A.L., Lawrence, J.M., 2013. Chapter 10 - nutrition. In: John, M.L. (Ed.), *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*. Elsevier, pp. 155–169.

Wolcott, R. (2005) A comparison of diets and water agitation methods for larval culture of edible sea urchin, *Tripneustes ventricosus* (Echinodermata: Echinoidea). *Revista Of Marine Science*, 77 (2), 177-190.

Zárate, E. V., MED de vivar, MG Avaro, L. Epherra Y MA Sewell. (2016). El sexo y el ciclo reproductivo afectan los perfiles de lípidos y ácidos grasos de las gónadas de *Arbacia dufresnii* (Echinodermata: Echinoidea). *Mar Ecol. Prog. Ser.* 551: 185-199.

PÁGINAS WEB:

Asturnatura. (2004) www.asturnatura.com. Obtenido de www.asturnatura.com: <https://www.asturnatura.com/articulos/equinodermos/erizos.php>

Brunetti, A. (2014) cienciaybiologia.com. Obtenido de cienciaybiologia.com: <http://cienciaybiologia.com/los-erizos-de-mar-o-equinodermos-echinodea/amp>

CENAIM (2017) www.cenaim.espol.edu.ec. Obtenido de www.cenaim.espol.edu.ec: <http://www.cenaim.espol.edu.ec/somos>

FAO (2010) www.fao.org. Obtenido de www.fao.org: <http://www.fao.org/3/a-i5555s.pdf>

John (2007) www.asturnatura.com. Los equinodermos. Obtenido de www.asturnatura.com: <https://www.asturnatura.com/articulos/equinodermos/erizos.php>.

Reyes (2018) <http://www.naturalista.mx>. Ciclo gametogénico del erizo marino *Echinometra lucunter*. **BIOLOGÍA TROPICAL**. Obtenido de www.naturalista.mx: <http://www.naturalista.mx/taxa/67762-Tripneustes-depressus>.

12. ANEXOS



Figura 12. Dietas; EzMate (a), Padina (b), Mezcla (c). Por Angie Mendoza.



Figura 13. Esterilización del Agar (a) materiales de preparación de las dietas (b). Por Angie Mendoza.



Figura 14. Preparación de las dietas; templado del Agar (a); Aplicación de las dietas (b); marcación de las capsulas (c); cortes de la dietas (d). Por Angie Mendoza.

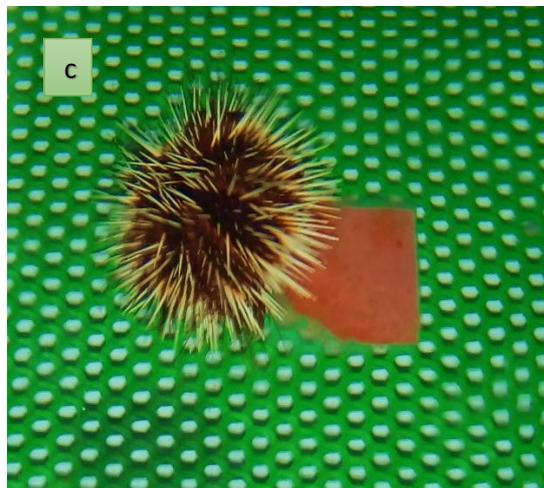
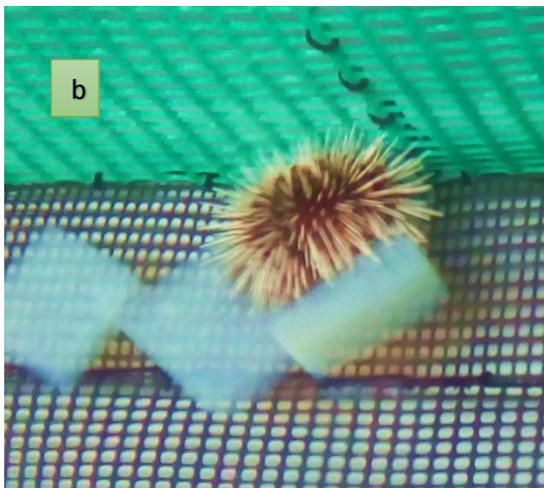


Figura 15. Ilustración de los erizos *Tripneustes depressus*; (a) siendo alimentados con las dietas correspondientes; (b) Factor corrección, (c) EzMate, (d) *Padina*, (e) Mezcla. Por Angie Mendoza.

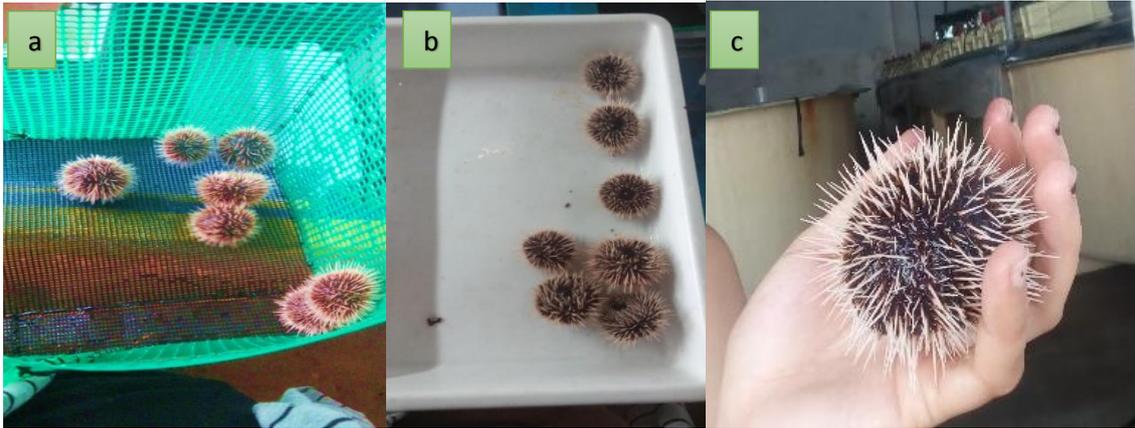


Figura 16. Recogimiento de las gavetas (a); distribución para medición y peso (b); manipulación del erizo *Tripneustes depressus* para la disección. Por Angie Mendoza.

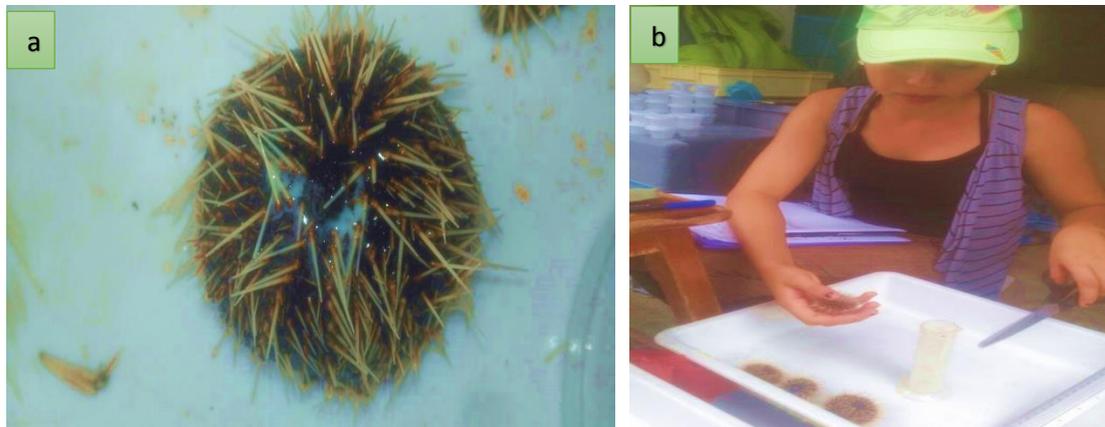


Figura 17. Desove de un erizo de mar *Tripneustes depressus* antes de la disección (a); Corte del erizo de mar por medio de la membrana peristomial. Por Angie Mendoza.



Figura 18. Corte del erizo de mar por medio de la membrana peristomial con tijera (a); incisión de la Linterna de Aristóteles (b); retiro del flujo más su partes digestivas (c); erizo de mar limpio con hilos gonádicos. Por Angie Mendoza.



Figura 19. Ilustración de los erizos de mar *Tripneustes depressus* ya diseccionados. Por Angie Mendoza.

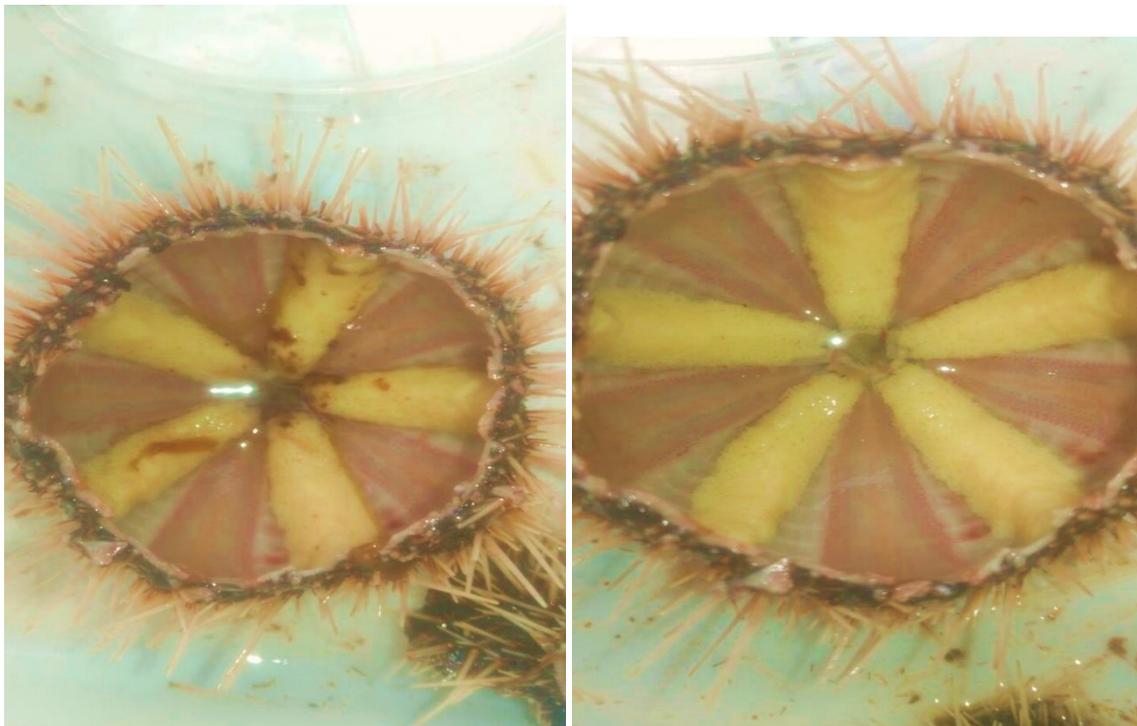


Figura 20. Ilustración de los erizos de mar *Tripneustes depressus* con gónadas del tratamiento EzMate con un sabor exquisito. Por Angie Mendoza.