

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR

“LUIS ARBOLEDA MARTÍNEZ”



CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ACUICULTURA

TÍTULO DE LA TESIS

Evaluación de dietas de algas, longitud inicial e iluminación en el crecimiento y supervivencia de juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus*

REALIZADO POR:

Jonathan Andrés Moreira Mendoza

TUTOR:

Dr. Jorge Ignacio Sonnenholzner Varas

Cotutor:

Mg. Hernán Jiménez Merchán

Jaramijó, Manabí, Ecuador

2019

Tesis defendida por
Jonathan Andrés Moreira Mendoza

APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ
MIEMBROS DEL COMITÉ

Blgo. Limber Alcívar Mendoza

Blga. Geormery Mera Loor

Ing. Alfredo Lucas Villegas

Jonathan Andrés Moreira Mendoza © 2019

*Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso
formal y explícito del autor y director de la tesis*



CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE REVISIÓN Y DE TITULACIÓN

“Evaluación de dietas de algas, longitud inicial e iluminación en el crecimiento y supervivencia de juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus*”.

DE:

Jonathan Moreira Mendoza

El proyecto de título del alumno Sr. Jonathan Moreira de la carrera de Tecnología en Acuicultura es un trabajo original que realizó en el Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (CENAIM-ESPOL) de Ecuador que tuvo como objetivo evaluar el crecimiento somático y desarrollo gonadal en la especie de erizo de mar *Tripneustes depressus*. Para la realización de este proyecto el estudiante aplicó técnicas desarrolladas y validadas en el Laboratorio de Equinodermos del Cenaim. Estableció el diseño de dos experimentos independientes. La tesis de grado fue sometida a consideración del tribunal de revisión y sustentación, como requisito previo a la obtención del título de Tecnólogo en Acuicultura en el Instituto Tecnológico Superior *Luis Arboleda Martínez*.

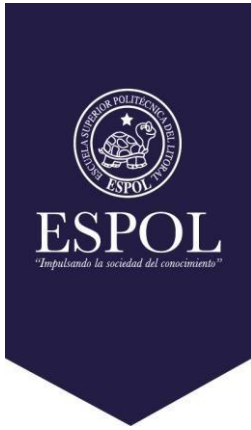
Realizado por:

Jonathan Andrés Moreira Mendoza.

Blgo. Limber Alcívar Mendoza

Blga. Geormery Mera Loor

Ing. Alfredo Lucas Villegas



CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

A QUIEN INTERESE

San Pedro de Manglaralto, Santa Elena, 21 de enero de 2019

Yo, Jorge Ignacio Sonnenholzner Varas, Ph.D. Con número de cédula 0911840510, investigador del Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas y docente de la Facultad de Ciencias de La Vida de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (CENAIM – FCV – ESPOL), en mi calidad de Director de tesis, **CERTIFICO** que el trabajo de intervención titulado: “**EVALUACIÓN DE DIETAS DE ALGAS, LONGITUD INICIAL E ILUMINACIÓN EN EL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE JUVENILES DEL ERIZO DE MAR *Tripneustes depressus***” que el señor Jonathan Andrés Moreira Mendoza, egresado de la especialidad en Tecnología Superior en Acuicultura, con número de cédula 1313418681, realizó con honestidad y responsabilidad la tesis, siendo así revisada, corregida y aprobada bajo mi dirección, cumpliendo con las disposiciones reglamentarias del Instituto Tecnológico Superior “Luis Arboleda Martínez”

Agradezco su atención,

Atentamente,

Jorge Ignacio Sonnenholzner Varas, Ph.D.
Docente – Investigador
Facultad de Ciencias de La Vida
Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones
Marinas



GUAYAQUIL:
Campus “Gustavo Galindo”
Km. 30.5 Vía Perimetral
Casilla: 09-01-5863

TELÉFONOS:
PBX: (593-4) 2269 269
Teléfonos: 2851 094
2854 560 - 2854 518
2854 486

Campus “Las Peñas”
Malecón 100 y Loja
Peñas Administ. 2081 071

QUITO:
Av. 6 de Diciembre N-33-55
y Eloy Alfaro Edif. Torre
Blanca, Piso N°2
Casilla 17-01-1076

TELÉFONOS:
PBX: (593-2) 2521 408
2561 199 - 2527 986

www.espol.edu.ec

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En mi calidad de autor, yo Jonathan Andrés Moreira Mendoza con C.I. # 1313418681, egresado de la especialidad de Acuicultura, menciono que los derechos patrimoniales del trabajo de grado titulado “Evaluación de dietas de algas, longitud inicial e iluminación en el crecimiento y supervivencia de juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus*” y la autoría le corresponde a mi persona y la titularidad al Instituto Tecnológico Superior “Luis Arboleda Martínez” y al Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas de la Escuela Superior Politécnica del Litoral “CENAIM – ESPOL”, de acuerdo a lo que dispone la Ley de Propiedad Intelectual.

Jonathan Andrés Moreira Mendoza.

CI # 1313418681

AUTORÍA

En mi calidad de autor, yo Jonathan Andrés Moreira Mendoza con C.I. # 1313418681, soy el responsable de las ideas, doctrinas (enseñanzas) y resultados expuestos en esta Tesis de Grado, y el patrimonio intelectual de la misma pertenecen al Instituto Tecnológico Superior “Luis Arboleda Martínez” y al Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas de la Escuela Superior Politécnica del Litoral “CENAIM – ESPOL”.

Jonathan Andrés Moreira Mendoza.

CI # 1313418681

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo respeto y cariño a mis padres José Moreira Chávez y Olga Mendoza Mendoza por su sacrificio y esfuerzo. Por confiar en mis capacidades y darme una carrera para mi futuro. Siempre me han brindado su guía, orientación y apoyo. No hubiera podido lograrlo sin la ayuda de Dios y de ellos.

AGRADECIMIENTOS

Al ilustre Instituto Tecnológico Superior *Luis Arboleda Martínez* (ITSLAM) en persona de sus autoridades, el Rector, señor Asisclo Galarza, *Máster in Business Administration*; la Vicerrectora, señora Marcela Nazareno, Doctora en Administración Pública, y la Coordinadora de la Carrera de Tecnología Superior en Acuicultura, señora María Guadalupe Bravo Montesdeoca, porque en sus aulas adquirí el conocimiento y me formé de modo integral como persona y futuro profesional con principios y valores que contribuirán en procesos de investigación, emprendimiento e innovación de mi país. Es un privilegio para mí ser parte de la primera promoción 2018-2019 de estudiantes egresados de esta prestigiosa institución constituida por la Senescyt.

Al Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (CENAIM – ESPOL) en persona de sus autoridades, el Director, señor Stanislaus Albert Sonnenholzner Schodl, Ph.D., y la ex Coordinadora de Investigación, la señora Bonny Bayot, Ph.D., por aceptar que estudiantes del ITSLAM se involucren en procesos investigativos de proyectos del Cenaim que promueven conocimiento nuevo y aplicado en las ciencias del mar.

Al señor Jorge Ignacio Sonnenholzner Varas, Ph.D., presento mi especial agradecimiento por haber dirigido mi tesis de grado en el Laboratorio de Equinodermos del Cenaim. Además, agradezco a su equipo técnico de trabajo, quienes contribuyeron en la mencionada investigación. El estudio investigación en el que participé corresponde al proyecto Senescyt PIC-2014-CENAIM-002.

Al señor Hernán Jiménez Merchán, Magister, por formar parte de mi comité de tesis. Por la revisión inicial de este trabajo.

A la señora María Panchana Orrala, técnico del Laboratorio de Equinodermos por el apoyo continuo y muy bien coordinado para que todas las actividades contempladas en mi trabajo de campo y laboratorio se cumplieran satisfactoriamente en tiempo y forma. Y junto a ella, también debo agradecer a los operarios, señores Alex Escalante y Ronald Aquino, por su colaboración durante los meses que permanecí vinculado en el desarrollo de mi trabajo de tesis en el Cenaim.

A mis profesores del Itslam que durante todos estos cuatro años de estudios estuvieron apoyándome y lograron que mi sueño se haga realidad. A José Alió Mingo,

por su ayuda desinteresada y consejos brindados durante mi formación académica. Siempre estuvo cuando lo necesité.

A mis compañeros de la carrera del Itslam, Angie Mendoza, Alexandra Suarez, Alexander Soledispa, Diviana López, Gabriela Estrada, Lenny Anton, Michelle Burgos y Yulezti Arteaga, por su ayuda y compañía en todo el proceso de estudios. Gracias por su apoyo y amistad.

A mis amigos del Cenaim, Francisco Santos, Juan Reyes y Sandra Rodríguez, también a Noelia Tourón, Adriana Naranjo, Eduardo Pizarro, Emily, Doménica Ramírez, David Contreras, Nicole Andrade, Johnny Núñez, Magaly Montachana, Carlos Vera, por su acompañamiento.

A mis hermanos Bryan, Steven, Paul y Wendy por sus palabras que siempre fueron fuente de motivación para que siguiera adelante y siempre sea perseverante y cumpla con mis ideales. A pesar de la distancia siempre todos están presentes.

A mi abuelita Julia, tía Karina y a “mami” Nely, por su compañía incondicional, por su paciencia y por impulsarme a no rendirme y continuar superándome en mis estudios profesionales.

A mis amigos María José Quimís y Mauricio López gracias por su apoyo, por sus buenos deseos y por estar pendiente de mí y de mi progreso.

ABREVIATURAS

CENAIM= Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas.

DT= Diámetro de testa.

ESPOL= Escuela Superior Politécnica del Litoral

FCA= Factor de conversión alimenticia.

IG= Índice gonadal.

IGS= Índice gonosomático.

cm= Centímetros.

PVC= Policloruro de vinilo.

PNG= Parque Nacional de Galápagos.

SGR= Tasa de crecimiento específico.

CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE REVISIÓN Y DE TITULACIÓN	1
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS	2
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS	3
AUTORÍA.....	4
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTOS	6
ABREVIATURAS.....	8
CONTENIDO	9
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABLAS.....	14
ANEXOS	15
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO 1	19
1. Introducción	19
1.1 Biología del crecimiento y desarrollo	19
1.2 Biología y ecología del crecimiento en los invertebrados acuáticos.....	19
1.2.1 El tamaño corporal	19
1.2.2 Control genético	21
1.2.3 Control ambiental	22
1.3 Biología del crecimiento en los equinodermos.....	22
1.3.1 Reproducción y factores ambientales	24
1.3.2 La alimentación y factores ambientales	25
1.4 Los erizos de mar	25
1.4.1 Biología y fisiología del crecimiento y reproducción de los erizos de mar.....	26
1.4.2 Importancia del crecimiento y la reproducción de los erizos de mar	27
1.4.2.1 Pesquerías.....	27
1.4.2.2 Acuicultura	28
1.4.3 El erizo de mar <i>Tripneustes depressus</i>	30
1.4.3.1 Clasificación taxonómica	30
1.4.3.2 Biología y ecología de <i>Tripneustes depressus</i>	31
1.4.3.3 Hábitat y distribución geográfica.....	32
1.4.3.4 Crecimiento	32
1.4.3.5 Reproducción	33
1.4.3.6 Importancia comercial	34

1.4.3.7 La pesquería del erizo de mar <i>T. depressus</i>	34
1.4.3.8 La acuicultura del erizo de mar <i>T. depressus</i>	35
CAPÍTULO 2.....	36
2. JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS DE ESTUDIO	36
2.1 Justificación del estudio	36
2.2 Planteamiento de hipótesis del estudio	37
2.3 El problema de investigación	37
2.4 Descripción del problema.....	39
2.5 Formulación del problema.....	39
CAPÍTULO 3.....	40
3. OBJETIVOS.....	40
3.1 Objetivo general	40
3.2 Objetivos específicos.....	40
CAPÍTULO 4.....	41
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
4.1 Procedimiento ético para estudios experimentales.....	41
4.2 Procedencia del erizo de mar <i>T. depressus</i>	41
4.3 Diseño de experimentación.....	41
4.3.1 Experimento 1	41
4.3.2 Experimento 2	44
4.3.3 Tratamiento de las muestras.....	47
4.3.3.1 Tasa de crecimiento (en diámetro y peso).....	47
4.3.3.2 Consumo de alimento	48
4.3.3.3 Producción de heces	49
4.3.3.4 Medición del <i>fouling</i> de jaulas suspendidas.....	49
4.3.3.5 Extracción de las gónadas.....	50
4.3.3.6 Determinación de sexo	50
4.3.3.7 Índice gonadal (IG%)	50
4.3.3.8 Supervivencia	51
4.3.3.9 Calidad del agua y parámetros ambientales	52
4.3.3.10 Medición de luz y fotoperiodo.....	52
4.3.4 Análisis de datos y estadístico	53
CAPÍTULO 5.....	54
5. RESULTADOS	54
5.1 Experimento 1	54
5.1.1 Tasa de crecimiento (en diámetro y peso)	54

5.1.2 Factor de Conversión Alimenticia (FCA).....	56
5.1.3 Índice gonadal (IG).....	57
5.1.4 <i>Fouling</i> en canastas	59
5.1.7 Supervivencia	60
5.2 Experimento 2	61
5.2.1 Tasa de crecimiento (en diámetro y peso)	61
5.2.2 Factor de Conversión de Alimento (FCA).....	64
5.2.3 Índice gonadal (IG).....	65
5.2.4 Supervivencia	66
CAPITULO 6.....	68
6. DISCUSIÓN.....	68
6.1 Crecimiento	68
6.2 Alimentación y reproducción	70
6.3 Supervivencia	72
6.4 Perspectivas	74
CAPITULO 7	75
7. CONCLUSIONES	75
CAPITULO 8.....	76
8. RECOMENDACIONES	76
CITAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS	87

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Esquema de ingreso y gasto de energía en equinodermos.
- Figura 2. Aspectos generales del erizo de mar *Tripneustes depressus* (Agassiz, 1863).
- Figura 3. Distribución geográfica del erizo de mar *Tripneustes depressus* (Agassiz, 1863).
- Figura 4. Fotografías de individuos (a) adulto y (b) juvenil del erizo de mar *Tripneustes depressus* (Agassiz 1863).
- Figura 5. Experimento 1. (a) Canastas utilizadas, (b) placas de PVC, (c) separaciones de dos unidades experimentales, en el experimento 1 del erizo de mar *Tripneustes depressus* (Agassiz, 1863) en condiciones de fotoperiodo natural y oscuridad.
- Figura 6. Experimento 2. (a) Gavetas plásticas, (b) malla de 300 micras. Utilizadas en el experimento del erizo de mar *Tripneustes depressus* (Agassiz, 1863) en condiciones de diferentes dietas.
- Figura 7. Fotografías de las algas marinas utilizadas en los experimentos 1 y 2: (A) *Kappaphycus alvarezii* (Doty), (B) *Padina durvillei* Bory y (C) *Sargassum ecuadoreanum* Taylor.
- Figura 8. Fotografías del (a) estado gonadal (b) fijación con alcohol al 98%, (c) determinación de sexo, del erizo de mar juvenil *Tripneustes depressus*. Agassiz 1863.
- Figura 9. Interacciones en las pruebas de ANOVA de dos vías de los factores de condición de iluminación y tamaño de los individuos juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* del experimento 1, a) tasa de crecimiento en diámetro de la testa (expresado en centímetros) y b) tasa de crecimiento tasa en peso (expresado en gramos). Barras blanca y gris corresponden a los tratamientos de fotoperiodo natural y oscuridad, respectivamente. Letras P y G significan individuos pequeños y grandes, respectivamente.
- Figura 10. Interacciones en la prueba ANOVA dos vías de los tratamientos de iluminación y tamaño de los erizos juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* para la variable Factor de Conversión Alimenticia (FCA) del experimento 1. Letras P y G significan individuos pequeños y grandes, respectivamente. Barras blanca y gris corresponden a los tratamientos de fotoperiodo natural y oscuridad, respectivamente.
- Figura 11. Interacciones en la prueba ANOVA de dos vías de los tratamientos de iluminación y tamaño de los erizos juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* para la variable índice gonadal (%) del experimento 1. Letras P y G significan

individuos pequeños y grandes, respectivamente. Barras blanca y gris corresponden a los tratamientos de fotoperiodo natural y oscuridad, respectivamente.

Figura 12. Variable de acumulación de *fouling* (g) en canastas del experimento 1. Barras blanca corresponde a fotoperiodo natural y barras grises corresponden a condiciones de oscuridad, y los días transcurridos (2 días, 4 días y 8 días) respectivamente de condiciones del experimento 1.

Figura 13. Porcentaje de supervivencia de individuos juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* por tratamiento del experimento 1. Barras blanca y gris corresponden a los tratamientos de fotoperiodo natural y oscuridad, respectivamente. Letras G y P significan individuos grandes y pequeños, respectivamente.

Figura 14. Interacciones en las pruebas de ANOVA de dos vías de los factores de condición de iluminación y tamaño de los individuos juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* en experimento 2, a) tasa de crecimiento en diámetro de la testa (expresado en centímetros) y b) tasa de crecimiento tasa en peso (expresado en gramos). Barras blanca y gris corresponden a erizos de mar tamaño pequeño y tamaño grande, respectivamente.

Figura 15. Interacciones en la prueba ANOVA de dos vías de los tratamientos dietas y tamaño de los erizos juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* para la variable Factor de Conversión Alimenticia (FCA) del experimento 2. Barras blanca y gris corresponden a los individuos pequeños y grandes, respectivamente.

Figura 16. Análisis de prueba de ANOVA de una vía para los tratamientos de dietas de la variable índice gonadal (%) de individuos juveniles grandes del erizo de mar *Tripneustes depressus* del experimento 2.

Figura 17. Porcentaje (%) de supervivencia de individuos juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* por tratamiento del experimento 2. Barras blanca y gris corresponden a los tratamientos de dietas. Letras G y P significan individuos grandes y pequeños, respectivamente.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Pruebas de ANOVA de dos vías para las variables a) tasa de crecimiento en diámetro y b) tasa de crecimiento en peso en juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* del experimento 1.

Tabla 2. Prueba de ANOVA de dos vías para la variable de Factor de Conversión de Alimento (FCA) en juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* del experimento 1.

Tabla 3. Prueba de ANOVA de dos vías para la variable de Índice Gonadal (IG%) en juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* del experimento 1.

Tabla 4. Acumulación de *fouling* en las canastas utilizadas en el experimento 1.

Tabla 5. Pruebas de ANOVA de dos vías para las variables: a) tasa de crecimiento en diámetro y b) tasa de crecimiento en peso de juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* del experimento 2.

Tabla 6. Prueba de ANOVA de dos vías para la variable de Factor de Conversión de Alimento en juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* del experimento 2.

Tabla 7. Prueba de análisis de varianza de una vía para la variable Índice Gonadal (IG%) en juveniles de tamaño grande del erizo de mar *Tripneustes depressus* del experimento 2.

ANEXOS

Tabla A. Especificaciones del experimento 1.

Tabla B. Diseño del experimento 1. Factor 1: Dietas. D1, D2, D3, D4. Factor 2: Tamaño de los erizos. G (grande) y P (pequeño). Control: erizos sin alimento.

Tabla C. Especificaciones del experimento 2.

Tabla D. Diseño del experimento 2. Factor 1: Iluminación. Luz, Oscuridad. Factor 2: Tamaño de los erizos. G (grande) y P (pequeño). Control: erizos sin alimento.

Tabla E. Hoja de formato guía de parámetros biológicos del erizo de mar *Tripneustes depressus* (Agassiz, 1863), para los experimentos.

RESUMEN

La pesquería de erizos de mar se ha expandido a nivel mundial y sus poblaciones han disminuido de manera importante. No obstante la acuicultura de erizos de mar ha tomado relevancia en las últimas décadas para manejo de estas pesquerías. Por su parte, el erizo de mar café *Tripneustes depressus* es una especie con gran potencial para la acuicultura en Ecuador y la región latinoamericana. Se realizaron dos experimentos independientes en gavetas plásticas con flujo abierto de agua y aireación para evaluar el crecimiento gonadosomático, factor de conversión de alimento, producción de heces y supervivencia de esta especie en cautiverio. El experimento 1 evaluó el efecto de las condiciones del fotoperiodo en 196 individuos de dos tamaños: *i*) grandes: $3,70 \pm 0,03$ cm DT; $25,8 \pm 0,71$ g ($n = 84$) y *ii*) pequeños ($n = 84$): $2,50 \pm 0,01$ cm DT; $8,6 \pm 0,13$ g. Los erizos fueron alimentados con el alga café *P. durvillaei*. El experimento 2 evaluó el efecto de diferentes dietas algales en 210 individuos de dos tamaños: *i*) grandes $2,8 \pm 0,01$ cm TD, $12,17 \pm 0,11$ g ($n = 105$) y *ii*) pequeños $1,6 \pm 0,01$ cm TD; $2,95 \pm 0,04$ g ($n = 105$). Los erizos fueron alimentados con cuatro dietas: D1= *Padina durvillaei*; D2 = *Sargassum ecuadorianum*; D3= *Kappaphycus alvarezii* y D4= la mezcla de tres algas. Los resultados del experimento 1, indicaron que los erizos de mar del tratamiento de oscuridad crecieron significativamente más rápido en diámetro y ganaron más rápido peso, respectivamente ($2,10 \pm 0,06$ cm; $5,8 \pm 0,2$ g), pero tuvieron un bajo IG% comparado con el de los individuos del tratamiento de fotoperiodo natural que fue significativamente mayor ($1,2 \pm 0,2$ g). Los resultados del experimento 2 indicaron que los erizos de mar alimentados con el alga café *P. durvillaei* crecieron más rápido en diámetro y ganaron más rápido peso, respectivamente ($2,6 \pm 0,2$ cm; $6,6 \pm 0,6$ g) que los individuos de los otros tratamientos. Los individuos pequeños fueron los que tuvieron una tasa de crecimiento mayor ($2,4 \pm 0,1$ cm; $6,1 \pm 0,4$ g) que los grandes ($1,8 \pm 0,1$ cm; $4,8 \pm 0,3$ g). Las gónadas se formaron sólo en individuos grandes en todos los tratamientos. El IG% fue significativamente más alto en los individuos alimentados con *K. alvarezii* ($0,30 \pm 0,07$ g). La supervivencia fue del 100% en ambos experimentos. Se demostró que una dieta suministrada de modo independiente y alternada de las algas *K. alvarezii* y *P. durvillaei* en alternancia del fotoperiodo natural y oscuridad promovieron mejor la ganancia de tamaño en diámetro y peso corporal con crecimiento de las gónadas del erizo de mar *T. depressus*. Estos resultados sugieren fuertemente que en un momento determinado de crecimiento corporal las gónadas podrían llegar a desarrollarse hasta alcanzar un tamaño comercial. Este trabajo es un aporte de

información técnica para el desarrollo de la acuicultura del erizo de mar *T. depressus* en Ecuador.

Palabras claves: Crecimiento, dietas, fotoperiodo, erizo de mar, *Tripneustes*.

ABSTRACT

The sea urchin fishery has expanded worldwide and its populations have declined significantly. However, the aquaculture of sea urchins has become relevant in the last decades for the management of these fisheries. For its part, the sea urchin *Tripneustes depressus* is a species with great potential for aquaculture in Ecuador and the Latin American region. Two independent experiments were conducted in plastic drawers with open water flow and aeration to evaluate the gonadosomatic growth, feed conversion factor, stool production and survival of this species in captivity. Experiment 1 evaluated the effect of photoperiod conditions on 196 individuals of two sizes: *i*) large: 3.70 ± 0.03 cm DT; 25.8 ± 0.71 g (n = 84) and *ii*) small (n = 84): 2.50 ± 0.01 cm DT; 8.6 ± 0.13 g. The hedgehogs were fed with the brown alga *P. durvillaei*. Experiment 2 evaluated the effect of different algal diets on 210 individuals of two sizes: *i*) large 2.8 ± 0.01 cm TD, 12.17 ± 0.11 g (n = 105) and *ii*) small 1.6 ± 0.01 cm TD; 2.95 ± 0.04 g (n = 105). The hedgehogs were fed four diets: D1 = *Padina durvillaei*; D2 = *Sargassum ecuadorianum*; D3 = *Kappaphycus alvarezii* and D4 = the mixture of three algae. The results of experiment 1, indicated that the sea urchins from the darkness treatment grew significantly faster in diameter and gained faster weight, respectively (2.10 ± 0.06 cm; 5.8 ± 0.2 g), but they had a low GI% compared to that of the individuals of the natural photoperiod treatment that was significantly higher (1.2 ± 0.2 g). The results of experiment 2 indicated that sea urchins fed with brown alga *P. durvillaei* grew faster in diameter and gained faster weight, respectively (2.6 ± 0.2 cm, 6.6 ± 0.6 g) than the individuals of the other treatments. Small individuals had the highest growth rate (2.4 ± 0.1 cm, 6.1 ± 0.4 g) compared to large individuals (1.8 ± 0.1 cm, $4.8 \pm 0, 3$ g). The gonads were formed only in large individuals in all treatments. The IG% was significantly higher in the individuals fed *K. alvarezii* (0.30 ± 0.07 g). Survival was 100% in both experiments. It was demonstrated that an alternating independent feeding diet of algae *K. alvarezii* and *P. durvillaei* in alternating natural and dark photoperiod promoted better the size gain in diameter and body weight with growth of the gonads of the sea urchin *T. depressus*. These results strongly suggest that at a given time of body growth the gonads could develop to a commercial size. This work is a contribution of technical information for the development of the sea urchin *T. depressus* aquaculture in Ecuador.

Keywords: Growth, diets, photoperiod, sea urchin, *Tripneustes*.

CAPÍTULO 1

1. Introducción

1.1 Biología del crecimiento y desarrollo

Todos los seres vivos crecen y se desarrollan en algún momento de sus vidas para alcanzar la forma y la fisiología propia de su estado de madurez (en la etapa de edad adulta). En particular, los organismos multicelulares consiguen el crecimiento por una acción que se evidencia a través de procesos corporales complejos, bien organizados y altamente diferenciados a nivel celular con habilidad de metabolizar y cambiar material externo a energía, como por ejemplo: *i*) aumento del tamaño y número de células; *ii*) adición de nuevas estructuras más desarrolladas; *iii*) renovación del tejido que recubre el cuerpo, y *iv*) modificación de estructuras. Entonces, por proliferación celular se genera el aumento continuo e irreversible del tamaño del organismo que conduce al desarrollo de estructuras más especializadas del mismo a lo largo de la vida. Por otro lado, desarrollo refiere a todos los cambios que ocurren durante la vida del organismo en sus etapas: embrión, pre-juvenil, juvenil y adulto.

A continuación se hará una breve revisión de referencias sobre este tema para considerar los diversos tipos de crecimiento animal en un contexto ecológico y evolutivo que han permitido producir algunas definiciones viables para los principales tipos de crecimiento animal.

1.2 Biología y ecología del crecimiento en los invertebrados acuáticos

1.2.1 El tamaño corporal

El tamaño corporal como una característica ecológicamente importante ha recibido atención en los últimos años (Calder, 1984; Peters, 1983; Townsend y Calow, 1981; Van Valen, 1973). Sin embargo, mucha de esta información trata principalmente de vertebrados superiores donde la determinación del tamaño adulto tiene un fuerte componente genético con poca posibilidad de alteración una vez que lo haya alcanzado. En cambio, las tasas de crecimiento y los tamaños finales de ciertos invertebrados están mucho menos restringidos. El componente de la genética es a menudo menos importante que las condiciones ambientales, y el tamaño está sujeto a alteración radical a medida que cambian estas condiciones. Entre los vertebrados terrestres pueden producirse diferencias significativas en el tamaño de los adultos entre poblaciones de una sola especie (por ejemplo, tamaño pequeño en poblaciones de islas, Case 1977),

pero entre los peces las mayores diferencias relacionadas al tamaño de los adultos son con respecto al hábitat (Brett 1979, Fryer y Iles, 1972; Weatherley, 1972). Estas diferencias de tamaño son causadas por efecto de diferenciación genética entre poblaciones y las respuestas plásticas ontogenéticas a condiciones ambientales locales. Incluso entre los vertebrados, existe un gradiente de especies con tamaño adulto muy fijo a bastante variable.

La variedad de morfologías que muestran los invertebrados proporciona ejemplos de patrones de crecimiento ampliamente divergentes. El patrón de crecimiento de organismos de cuerpo duro (ciertos crustáceos y otros artrópodos) es limitado como en los vertebrados superiores, mientras que la tasa de crecimiento y tamaño final en organismos con cuerpo blando varían mucho en condiciones ambientales cambiantes. Muchas de estas especies tienen la capacidad de reducir o "disminuir" un pequeño porcentaje su masa corporal (Towsend y Calow 1981) a medida que las condiciones ambientales se hacen desfavorables y vuelven a crecer cuando las condiciones mejoran (Paine, 1976; Sebens, 1982).

Dentro del grupo de los invertebrados marinos, los equinodermos poseen estas características de crecimiento. De muchas maneras, los patrones de crecimiento menos restringidos aparecen en los invertebrados coloniales para los cuales un tamaño final o asintótico no puede ser determinado. Tales formas coloniales crecen, se encogen, dividen y sufren mortalidad parcial (Highsmith, 1982; Hughes y Jackson, 1980, 1985; Sebens, 1979). El resultado neto de estos procesos determina la tasa de crecimiento de la colonia y el patrón de tallas observados dentro de las poblaciones. Definitivamente, el tamaño sí importa, ya que afecta aspectos energéticos, historia de vida, éxito en la competición, susceptibilidad a la depredación y otros varios procesos ecológicos, y esto es así si el tamaño es alcanzado por procesos genético fijos o por la suma de influencias ambientales opuestas. La selección natural puede actuar sobre el tamaño del adulto o sobre el grado de plasticidad en las que los animales varían de crecimiento y tamaño en respuesta al medio ambiente.

Los invertebrados marinos con presencia de exoesqueleto o estructura dura (por ejemplo, langostas, moluscos bivalvos, entre otros) presentan un tipo de crecimiento manifestado regularmente con cambios estacionales temporales en el peso somático (Hilbish, 1985; Kautsky, 1982; Thompson 1984) dependiendo en parte de la disponibilidad de alimentos y la contracción somática, ya que el tejido no está

acompañado por la reducción del tamaño de la concha en tales organismos. Por otra parte, el patrón de crecimiento en invertebrados de cuerpo blando dependerá del hábitat, pero con la capacidad de reducir radicalmente su peso original (10% en algunos casos) si las condiciones empeoran (Hiscock, 1985; Sebens, 1982, 1987). Es esta necesidad de adaptabilidad de tamaño, tanto en el individuo como en el nivel poblacional, que podría causar la evolución de una respuesta plástica en lugar de un tamaño máximo fijo (Metcalf, 1906; Smith-Gill, 1984; Stearns y Koella, 1986).

1.2.2 Control genético

Ciertamente hay un componente genético de todas las formas de crecimiento animal. En la interpretación más estricta, el tamaño adulto de la mayoría de los vertebrados terrestres y de algunos vertebrados acuáticos se determina mediante selección natural para las características mecánicas del esqueleto y los sistemas de órganos. Una teoría propone que los tamaños de los elementos estructurales, y por lo tanto los tamaños de los cuerpos, se seleccionan para funcionar en condiciones poco frecuentes pero extremas (Wainwright et al. 1976; McMahon, 1973; Lowell, 1985; Alexander, 1971, 1982; Calder, 1984) en lugar de condiciones de estrés incurridas durante las funciones diarias de rutina. Sin embargo, dado el papel ecológico de una especie en particular (por ejemplo, especie voladora, corredora, nadadora, formadora de madrigueras), incluyendo su posición trófica (por ejemplo, depredador en animales grandes móviles, herbívoro de pastos o algas, entre otros), mecánico, así como las restricciones energéticas y termodinámicas pueden establecer un óptimo para el tamaño adulto a lo largo del tiempo evolutivo (Peters, 1983; Calder, 1984; Belovsky, 1978). Por consiguiente, alcanzar el tamaño óptimo es improbable por efecto de las restricciones mecánicas afectadas sustancialmente por el hábitat. Diferencias, incluso por periodos de alta y baja abundancia. En semejante escenario, la evolución fijaría el tamaño adulto en una población dada, aunque siempre habría una interacción entre tamaño, dieta, actividad y otros factores ambientales que producen cierta variabilidad en el tamaño final. Sin embargo, la selección no se esperaría que favorezca grandes diferencias de tamaño a través de los hábitats o la capacidad de cambiar de tamaño radicalmente según las condiciones variantes del hábitat.

1.2.3 Control ambiental

El patrón de crecimiento se ve radicalmente afectado por las condiciones ambientales. No obstante, el crecimiento moderado responde a los procesos energéticos de tal manera que los animales crecen regulados bajo la disponibilidad de alimento. Este es el caso particular del alcanzar la asíntota de organismos de un tamaño más pequeño que los que tienen un régimen físico similar pero con mayor disponibilidad de alimento. En algunos grupos de animales, una vez que el tamaño asintótico ha sido alcanzado, sólo pudiera ocurrir pequeños cambios de tamaño o peso. En otras palabras, el medio ambiente actúa a través de la ontogenia y ha sido "determinado" mediante la tasa de crecimiento, tamaño final y otras características de la historia de vida del organismo.

La influencia ambiental también afecta la tasa de crecimiento y tamaño máximo de los animales que no parecen alcanzar, aunque pueden acercarse, un tamaño asintótico. Se puede establecer una trayectoria de crecimiento determinada por condiciones ambientales durante crecimiento temprano o puede haber una flexibilidad significativa en la trayectoria de crecimiento de tal manera que los cambios en las condiciones ambientales pueden mover individuos en cualquier dirección a través de la envoltura de posibles curvas de crecimiento. Incluso en la mayoría "determinadas" formas de crecimiento animal hay algunos principios ambientales que influyen tanto en la dimensión lineal como en el peso final una vez que se detiene el crecimiento. En humanos y otros mamíferos, estas diferencias se han relacionado con la maternidad, y la dieta durante el crecimiento juvenil (Krieger, 1966), entre otros factores.

1.3 Biología del crecimiento en los equinodermos

Existe abundante información sobre el crecimiento de los equinodermos, especialmente sobre estrellas de mar y erizos de mar. Sin embargo, ningún estudio o cuerpo de trabajo relacionado proporciona datos necesarios para ajustar el modelo de tamaño óptimo. Varias observaciones de crecimiento dependiente del hábitat en estrellas de mar (Feder, 1970; Paine, 1976; Vahl, 1984) y erizos de mar (Calow y Woollhead, 1977; Ebert, 1982; Thompson, 1982) indican que la respuesta de estas formas es extremadamente plástica a las condiciones ambientales.

En su estudio, Feder (1970) observó el decrecimiento de las tasas de crecimiento entre el 25 y 40% en 21 meses para la estrella de mar *Pisaster ochraceus* durante la alimentación en condiciones experimentales de laboratorio *ad libitum* que

eran mucho más altas que de los mejores hábitats. La plasticidad del tamaño en las estrellas de mar es claramente una adaptación para aprovechar las presas temporalmente abundantes y para soportar largos períodos de escasez de presas. La naturaleza impredecible del reclutamiento de presas (por ejemplo, mejillones) en el tiempo y el espacio puede ser el factor que hace necesaria esta plasticidad. Los erizos de mar pueden parecer mucho más limitados en su capacidad para crecer y encogerse debido a su duro endoesqueleto (llamada testa). Sin embargo, el rápido crecimiento dependiente del hábitat (Buss, 1980; Ebert, 1982; Vadas, 1977) es una característica común de las poblaciones de erizos y el decrecimiento puede ocurrir por la reabsorción de los bordes de las placas que forman la testa (Ebert, 1968, 1982, 1985). Los erizos tropicales grandes, tales como *Diadema antillarum* pueden perder tanto como un centímetro en el diámetro de testa (de 8 cm de diámetro original) en menos de dos meses (Ebert, 1985). Por otra parte, las especies de agua fría pierden masa corporal mucho más lento y probablemente pueden sobrevivir durante varios años después de haberse diezmado el recurso preferido de algas marinas al raspar la superficie de las rocas y las algas coralinas crustosas. Los erizos de mar en esta última condición dejan de crecer en tamaños de aproximadamente la mitad del diámetro de los que se alimentan continuamente de algas marinas (Sebens, 1987; Vadas, 1977). Una vez que se restablece el recurso algal preferido, el crecimiento puede volver a ocurrir incluso si ya se había alcanzado una asíntota con la dieta mínima (Vadas 1977).

El ingreso de energía es mayor en animales más grandes. Y las tasas metabólicas son mayores cuando aumenta el tamaño, pero no de forma pareja, la tasa metabólica aumenta a mayor velocidad que el tamaño del individuo. Y el crecimiento tampoco es uniforme con la edad. Poseen crecimiento indeterminado, es decir, el único límite es la edad del animal. A partir de la edad reproductora la velocidad de crecimiento se reduce mucho. A mayor edad, más parte de su tasa metabólica queda a disposición de la reproducción y menos se usa para el crecimiento (Fig. 1). Por eso es importante que la hembra sea grande. Los gametos femeninos son más costosos, los masculinos son menos costosos. Por eso pasa primero por la fase masculina y cuando alcanza cierto tamaño o edad pasa a la fase femenina. La mortalidad asociada a la reproducción es mayor en machos que en hembras. En general, en los primeros años, la mayor parte de la energía se invierte en el crecimiento. Cuanto más crece el animal, más se atenúa el crecimiento y más aumenta la energía invertida en la reproducción (Fig. 1).

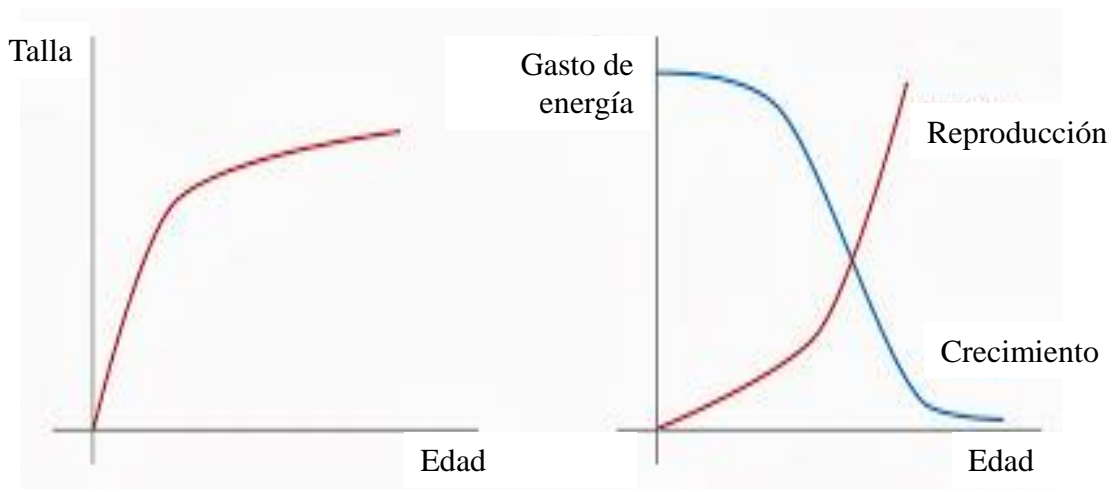


Figura 1. Esquema de ingreso y gasto de energía en equinodermos

1.3.1 Reproducción y factores ambientales

La reproducción de los equinodermos se presenta de modo sexual, y todas sus especies son dioicas. La fecundación es siempre externa y tanto el macho como la hembra expulsan sus gametos una vez que se encuentran en estado de madurez sexual. Los erizos de mar poseen cinco conductos utilizados para expulsar los gametos, ubicados en la parte superior cerca del conducto anal. Una vez fecundados, muchas especies incuban sus huevos, algunas entre las espinas y otras entre los pies ambulacrales, comúnmente estos se desarrollan a la deriva expuestos a las condiciones medio ambientales favorables cumpliendo su proceso de formación y posterior crecimiento en el medio natural.

Las estimaciones basadas en histología indican que el conjunto de los datos disponibles sobre desoves en los erizos de mar proceden de la inducción artificial con inyecciones de solución de cloruro de potasio (Mercier y Hamel, 2009). No obstante, se sabe que en equinodermos el fotoperiodo es un factor ambiental que puede regular y controlar el componente anual del ciclo reproductivo de adultos reproductores en estado de madurez, y que otros factores (tales como, fase lunar, nivel de marea, temperatura del agua, concentración del fitoplancton, movimiento del agua) actúan como cofactor que sincronizan el desove. En tanto, la salinidad no es un desencadenante ambiental comúnmente propuesto para el desove. Por otro lado, la agregación de comunidades de erizos de mar de la misma especie al momento del desove y la distribución de los

individuos en desove tiene un efecto importante en el éxito reproductivo de los reproductores de transmisión (Mercier y Hamel, 2009).

1.3.2 La alimentación y factores ambientales

Las especies del erizo de mar *Echinometra* tienen dos modos de alimentación básicos que varían según la especie y el entorno (por oferta ambiental): (i) captura de algas a la deriva y (ii) captura directa por raspado de algas del fondo rocoso marino. La mayoría de las especies usan ambos modos en cualquier momento como herbívoros y en algunos casos actúan como depredadores. De hecho la anatomía (linterna de Aristóteles está formada por cinco estructuras triangulares de carbonato de calcio que apuntan hacia la boca que facilita la alimentación. El aparato digestivo es bastante similar al del resto de equinodermos que está constituido por el esófago, estómago e intestino que desemboca en el ano) la fisiología de los erizos de mar está influenciada en gran medida por el nivel, calidad y cantidad de alimentos. Y la disponibilidad de alimentos afecta la distribución y asignación de recursos en los componentes de crecimiento somático y gonadal.

Varios factores pueden influir en el crecimiento y supervivencia de juveniles de erizos de mar, tales como la dieta, ración alimentaria, densidades, iluminación, temperatura, concentraciones de oxígeno disuelto, entre otros. De hecho, el factor biológico intrínseco del crecimiento gonadal y el factor ambiental de oferta de alimento, juntos determinan la tasa de crecimiento somático en los erizos (Lawrence y Lane, 1982. Observaciones realizadas en erizos de la familia Toxopneustidae demuestran que utilizan fragmentos de algas marinas a la deriva y arrancadas del fondo para consumo, pero pueden servirles como cobertura protectora y defensa contra la radiación solar. Estos aspectos se observan en todas las tres especies de *Tripneustes* como una reacción para evita la luz, ya que los individuos que se encuentran debajo de las rocas o en áreas sombreadas rara vez están cubiertos por algas (Lawrence y Agatsuma, 2013).

1.4 Los erizos de mar

De los equinodermos, los erizos de mar tienen vida libre, presentan forma esférica con simetría radial y todos los órganos se encuentran encerrados en un caparazón continuo y recubierto de espinas. En ese caparazón las estructuras se repiten en número de cinco y en el caparazón podemos distinguir cinco zonas ambulacrales y

cinco zonas interambulacrales. Los pies ambulacrales se aprecian en la cara interior y se encuentran alineados (en forma de meridianos). Las placas se unen entre sí. Las zonas ambulacrales están perforadas (los pies ambulacrales aparecen como pequeñas perforaciones) y las zonas interambulacrales no se encuentran perforadas. Las espinas se asientan sobre una rótula. Una epidermis recubre todo el caparazón, espinas incluidas. Esta epidermis es ciliada, con pedicelarios y una estructura compleja. Los podios cumplen diversas funciones, como la locomoción, intercambio gaseoso, la alimentación, la fijación al sustrato y la recepción sensorial.

La boca está en la cara inferior, en el centro de una especie de membrana. Encontramos lo que se denomina linterna de Aristóteles, un aparato masticador con dientes en crecimiento continuo. Estos dientes son rascadores y raspadores. El tubo digestivo es largo y voluminoso, con un intestino que da vueltas alrededor de la cara interna del caparazón. Posee un sifón que transporta agua, expulsa el agua que toma con los alimentos para que no diluya sus jugos gástricos. El ano se encuentra en la zona superior. Hay cinco placas grandes genitales en la zona interna, alineadas con las interambulacrales. En ellas encontramos los poros que expulsan los elementos sexuales. De estas cinco placas, una de ellas es la madreporita, por donde entra en conexión con el sistema acuífero y de ahí puede expulsar los gametos al exterior. El sistema acuífero tiene un canal anular alrededor del intestino, ramificado y que contacto con las zonas ambulacrales. Las branquias se encuentran alrededor de la boca y serían sus superficies respiratorias.

Tienen reproducción sexual con sexos separados. Los machos son de mayor tamaño que las hembras (cuando tienen la misma edad). En este grupo no hay capacidad de regeneración destacada.

1.4.1 Biología y fisiología del crecimiento y reproducción de los erizos de mar

El Phylum Echinodermata representa uno de los grupos más importante en la estructura ecológica de las comunidades marinas que actúan como depredadores, ramoneadores, detritívoros y micrófagos, por lo que representan un papel clave en los ecosistemas marinos (Ramírez, 2010). Los erizos de mar se encuentran ampliamente distribuidos en los océanos mundo, desde las aguas polares, templadas y tropicales, desde profundidades que van de los 20 m a 925 m de profundidad (Maluf, 1988a, 1991b).

Los erizos de mar cumplen un papel ecológico importante. Su ausencia puede influir de forma negativa o positiva, en muchos casos la interacción de un sin número de especies entre sí. Por ser herbívoros primarios se alimentan de numerosas algas del lecho marino que se encuentran distribuidas en zonas coralinas, y a su vez estos cumplen la función de alimentarse de estos grupos de algas y controlar su crecimiento, distribución y abundancia. Todos estos aspectos afectan indirectamente la vida de otras poblaciones de animales, como peces, crustáceos, bivalvos y cefalópodos que habitan en estos lugares con presencia de corales, los erizos pueden alterar los ecosistemas bentónicos mediante el forrajeo, convirtiendo extensos espacios de algas en blanquizales (Sala et al., 1998). Además del efecto de los peces sobre el control poblacional de los erizos y el mantenimiento de las diferentes comunidades algales, hay otros factores que regulan el crecimiento de los mismos, por ejemplo, el reclutamiento, la contaminación, las enfermedades, los eventos oceanográficos a gran escala, el suministro alimenticio, y la disponibilidad de refugios (Sala et al., 1998).

Tal como ocurre con otros invertebrados marinos, en los erizos de mar el crecimiento implica los siguientes cambios: 1) El crecimiento (implica cambios a nivel del diámetro del caparazón (tamaño) y en biomasa (peso), procesos que necesariamente involucran tener que expandirse, calcificar y producir tejidos blandos como las gónadas) y 2) Para el proceso de calcificación, requieren la intervención de diferentes enzimas. El crecimiento es un proceso que puede ocurrir en condiciones de oscuridad y afectado por la calidad de la dieta, que a su vez tiene una relación directa con el crecimiento, desarrollo y maduración de las gónadas (Al-Horani *et al.* 2007; Moya et al. 2008).

1.4.2 Importancia del crecimiento y la reproducción de los erizos de mar

1.4.2.1 Pesquerías

Existen alrededor 850 especies de erizos de mar en el mundo, y al menos 17 de estas se comercialmente como alimento humano, lo que ha generado importantes pesquerías de erizos de mar en muchas regiones del mundo (Andrew et al., 2002).

La pesquería de erizos de mar es la más importante de todas las pesquerías de equinodermos (Sheibling y Mladenov, 1987). Esto ha dado como resultado actividades de extracción y cosecha de este recurso del medio marino. Esta industria aprovecha principalmente las gónadas de varias especies de erizo de mar que son apreciados como un manjar en muchas partes del mundo, y son conocidas como “Roe” o “Uni” (Pearce et

al., 2002). Los erizos satisfacen la demanda del mercado mundial como alimento gourmet por su alta calidad de proteína animal. Las gónadas (sean en frescas o procesadas) según su país de origen, pueden llegar a alcanzar precios superiores a USD\$65/ kg (Brown y Eddy, 2015). Mientras que las gónadas de mayor calidad se pueden vender por más de USD\$300/ kg (San y Chinag, 2015). El mayor consumidor de Roe en el mundo es Japón y los principales países exportadores de gónadas de erizo son Chile, México, Estados Unidos de Norteamérica, Canadá, Francia e Irlanda, entre otros (Brown y Eddy, 2015; Stefánsson, et al., 2017).

Todo lo anterior mencionado ha dado como resultado el desarrollo de una actividad pesquera insostenible, que a lo largo de los años se ha basado en la explotación sin control de este recurso. Como consecuencia las poblaciones de especies de erizos de mar se encuentran sobreexplotadas y sus densidades naturales han disminuido drásticamente en los últimos años, poniendo en riesgo la industria pesquera (Sheibling y Mladenov, 1987).

1.4.2.2 Acuicultura

El estado actual de las poblaciones de erizo de mar en el mundo muestra claros indicios de agotamiento con disminución gradual de las tallas colectadas por efecto de la sobreexplotación (Andrew et al. 2002). La mayoría de especies que se capturan son de lento crecimiento provenientes de regiones frías templadas (Stefánsson, et al., 2017). Este es caso para *Loxechinus albus* en Chile, *Strongylocentrotus franciscanus* desde Baja California, México hasta Alaska, E.U.A. y *Paracentrotus lividus* en el Mediterráneo y en el Océano Atlántico oriental. Estas tres especies por ser de lento crecimiento pueden demorar hasta cuatro años para alcanzar el tamaño adecuado para su comercialización y su gónada no siempre es de excelente calidad para consumo (Arana, 2005). No obstante, ha habido lentitud por parte de los principales productores de erizo del mundo para llevar a cabo acciones conjuntas rápidas y efectivas que mejoren la situación de estas pesquerías, a través de la aplicación de técnicas de acuicultura para recuperación de los stocks naturales mediante repoblación (Sartori et. Al., 2016).

Considerando la rápida expansión de las actividades extractivas del erizo de mar en todo el mundo, hoy se han puesto en marcha criaderos industriales del erizo de mar en granjas marinas en mar abierto del tipo *sea ranching* (Byrne, 1990. Cook y Kelly 2007) para engorde y posterior cosecha con el propósito del manejo de pesquerías

locales sustentables y amigables con el ambiente marino (Sartori et al., 2016). Debido al interés por la acuicultura de erizos de mar, se han generado numerosas evaluaciones y consideraciones biológicas y fisiológicas relevantes para generar el cultivo intensivo de erizo de mar (sistema de crianza en confinamiento o cautiverio y a densidades mucho mayores de las que soportan los ecosistemas naturales). Con el fin de diversificar el cultivo de especies, existe gran interés en los erizos de mar, temas relacionados a la alimentación, crecimiento, control reproductivo, y adaptaciones fisiológicas relevantes para el cultivo intensivo. Sin embargo, el esfuerzo de los estudios se ha centrado en la generación de tecnologías para su cultivo, como la fertilización de óvulos a diferentes salinidades (López-Ortiz y Sánchez, 2009) y la producción de juveniles de *Strongylocentrotus franciscanus*.

Varios estudios se han desarrollados, en cultivos de especies de rizos de mar. Por ejemplo en España se aprobó un proyecto de Investigación, Desarrollo e innovación (I+D+i) por el Consejo de Administración del Centro para el Desarrollo Tecnológico (CDTI) con el propósito de obtener juveniles del erizo de mar *Paracentratus lividus* destinados a la siembra y posterior seguimiento de las poblaciones en el medio natural, para producir datos que establezcan la viabilidad de la recuperación de las zonas sobreexplotadas mediante normas técnicas que contribuyen a la continuidad del recurso (Rey-Méndez et al., 2015). En Chile, el Programa de Fomento Productivo para el Sector Pesquero Artesanal y la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura de Chile, pusieron en marcha un criadero a gran escala del erizo de mar *Loxechinus albus* en Antofagasta para abastecer de semillas a la industria acuícola (Bustos y Olave, 2001).

Estados Unidos y México, pretenden generar un proyecto de acuicultura para implementar el cultivo de los erizos de mar *Strongylocentrotus franciscanus* y *Strongylocentrotus purpuratus* desarrollando nuevo alimentos a base de kelp *Macrocystis pyrifera* macro algas que muestra ser una alternativa para el desarrollo productivo de esta actividad. (Sonnenholzner et al., 2011; Ebert et al., 2018). Por otro lado en Ecuador desde el año 2013 el Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas “CENAIM-ESPOL” lleva a cabo con éxito la realizando hasta la fecha, un proyecto: denominado PIC-2014-CENAIM-002. Cuyo objetivo es el “Desarrollo de Protocolos de Domesticación para el Uso Sostenible de Nuevas Especies Marinas para Consumo de Alimentos y Repoblación de Bancos Naturales” tiene un enfoque de Desarrollar protocolos de producción de semillas de equinodermos de interés comercial

y ecológico. Con el objetivo de promover una alternativa hacia la diversificación de la matriz productiva acuícola de Ecuador.

No obstante, hasta que las técnicas de acuicultura estén lo suficientemente desarrolladas como para satisfacer al mercado internacional, la explotación de los bancos naturales de erizos de mar sigue siendo la única posibilidad real para suplir esta alta demanda. Por ello, es necesario conducir una gestión más efectiva de los “stocks” y la explotación de nuevas poblaciones de erizos, de un modo sostenible.

1.4.3 El erizo de mar *Tripneustes depressus*

1.4.3.1 Clasificación taxonómica

Reino: Animalia

Filo: Echinodermata

Subfilo: Echinozoa

Clase: Echinoidea

Subclase: Euechinoidea

Infraclase: Carinacea

Superorden: Echinacea

Orden: Camarodonta

Familia: Toxopneustidae

Género: *Tripneustes*

Especie: *Tripneustes depressus*

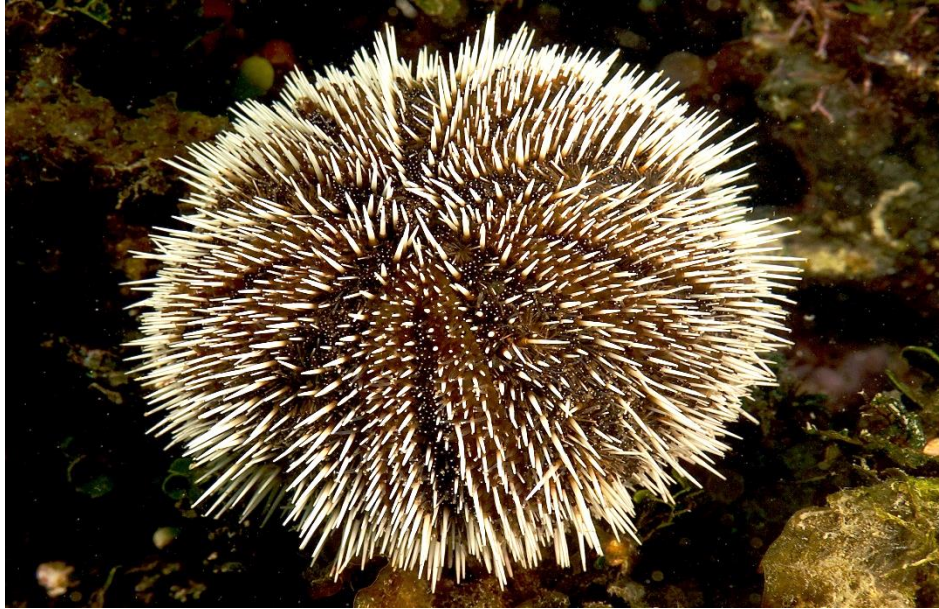


Figura 2. Aspectos generales del erizo de mar *Tripneustes depressus* (Agassiz, 1863).

1.4.3.2 Biología y ecología de *Tripneustes depressus*

Tripneustes depressus (fig. 2) presenta un endoesqueleto con cuerpo globoso de coloración café oscuro, con espinas cortas de color blanquecino o pálido. El diámetro de la testa puede alcanzar los 150 mm TD. En el Ecuador distribuye ampliamente en las islas Galápagos. Constituye uno de los erizos más comunes en zonas intermareales y sublitorales del archipiélago. Comúnmente habitan en arrecifes rocosos, desde los 3 hasta los 30 m de profundidad.

El estudio realizado por González-Peláez (2001) evaluó los parámetros poblacionales de *T. depressus* en Punta Arena de la Ventana, México y concluyó que presenta un crecimiento alométrico, relativamente lento y con una tasa de mortalidad alta. En otros sitios como en los Frailes (Idrovo y Sonnenholzner 1994), Isla Santa Cruz (Guarderas 2000) y Galápagos Ecuador (Luna 2000), presenta una distribución agregada, con densidades de 1,5 y 1,8 organismos por m² (Idrovo y Sonnenholzner 1994) y de 1,32 individuos/5m² (Luna 2000).

1.4.3.3 Hábitat y distribución geográfica

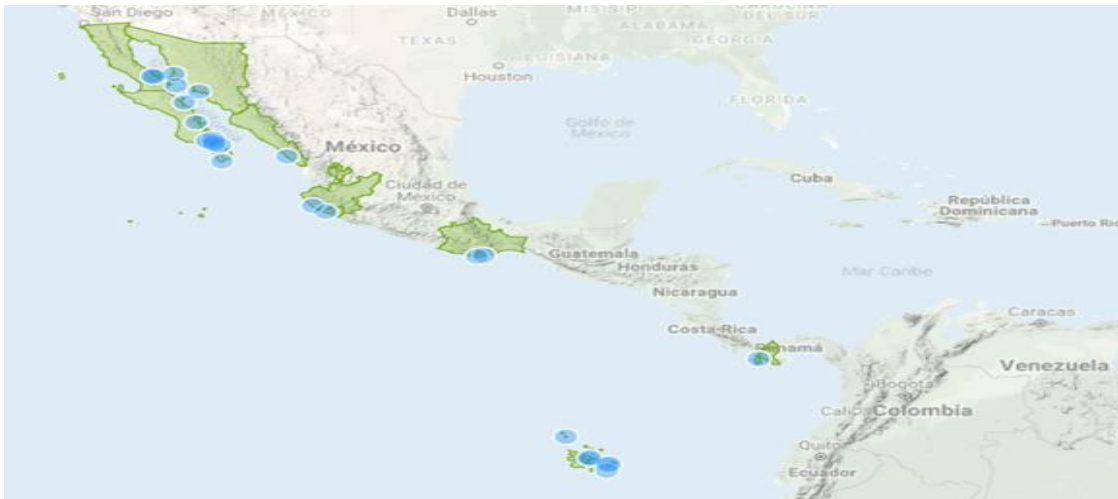


Figura 3. Distribución geográfica del erizo de mar *Tripneustes depressus* (Agassiz, 1863). Puntos azules.

T. depressus se distribuye ampliamente desde Baja California hasta las islas Galápagos (fig. 3) se lo encuentra desde el infralitoral hasta los 73 m de profundidad (Hickman, 1997). Se distribuye dentro del Golfo de California (29°N), es común en la parte sur del Golfo de California, y hacia el sur a lo largo de la costa mexicana, y las islas oceánicas hasta a Galápagos, Ecuador (0°N) (Bertsch y Aguilar-Rosas 2016, Danemann y Ezcurra, 2008).

1.4.3.4 Crecimiento



Figura 4. Fotografías de individuos (a) adulto y (b) juvenil del erizo de mar *Tripneustes depressus* (Agassiz 1863).

T. depressus es una especie ruderal de rápido crecimiento y formación temprana de gónadas. Pueden alcanzar su etapa adulta a los 9 meses de edad. La longitud del caparazón presente en etapa juvenil a etapa adulta un diámetro de 5 a 16 cm (Fig. 4a) una altura de caparazón de entre 3 a 10 cm, con una forma redondeada o ligeramente pentagonal. La altura del caparazón oscila entre el 40% al 60% del total su diámetro. Las espinas en etapa juvenil *T. depressus* presenta espinas largas y delgadas con tonalidades de naranja en las bases (fig. 4b), en su etapa adulta se muestran pequeñas y delgadas con tonalidades blanquizas, estriados longitudinalmente, se muestran menos numerosas y más pequeñas que las de *T. ventricosus*. Miden de 2 a 5 mm TD. Se distribuyen sobre las zonas ambulacrales e interambulacrales. Sus pedicelarios se presenta de dos modalidades: tridentados y oficéfalos, menos abundantes que en *T. ventricosus*.

1.4.3.5 Reproducción

T. depressus es una especie de erizos de mar dioicos, que no poseen caracteres sexuales secundarios identificables. El desarrollo gonadal es influido por factores ambientales como la temperatura del agua de mar, la luminosidad y la disponibilidad de alimentos, entre otras. Por otro lado, las gónadas de los erizos de mar cumplen doble función; actúan como órganos de reserva de energía y de reproducción (Fuji, 1967). Por tal motivo, el distribuir y administrar la energía es clave, sobre todo en aquellas especies de erizos de mar de crecimiento indeterminado o lento, como es el caso de la mayoría de erizos de mar que actualmente son explotados comercialmente (Ebert, 2007).

Sobre su biología reproductiva, existe estudio realizado en México, realizado por González-Peláez (2001) en Punta Arena de la Ventana Baja California Sur (BCS), quien reporta para esa localidad que *T. depressus* presenta un solo período de desove al año durante los meses de verano. Mientras que en Islote Caamaño, Ecuador, presenta entre dos y tres períodos de desove al año (Luna 2000). Y Vives (2018) realizó un estudio sobre la calidad de la gónada por fases de madurez y caracterizó el ciclo reproductivo del erizo de mar *T. depressus* (Agassiz 1963) en la Bahía de La Paz, BCS, México.

1.4.3.6 Importancia comercial

De la familia *Toxopneustidae* Roschel 1872, el género del erizo de mar *Tripneustes* es muy bien valorado comercialmente porque reúne características biológicas importantes, el rápido crecimiento, la capacidad para producir gónadas grandes en corto tiempo y su adaptación al cautiverio para su cultivo (Lewis, 1958; Scheibling y Mladenov, 1987). Y su rápido crecimiento. Este género cuenta con tres especies: *T. gratilla* (Linnaeus 1758), *T. ventricosus* (Lamarck 1816) y *T. depressus* (Agassiz 1863).

En Ecuador la especie de erizo de mar *T. depressus* tiene un alto potencial de cultivo a grandes densidades que podría aportar con el desarrollo e implementación sostenible de su cultivo de modo intensivo y desarrollo viable económicamente: Especie ampliamente distribuida desde Baja California, México hasta el norte de Perú. Pese a su importancia, esta especie no ha sido suficientemente estudiada en Latinoamérica.

1.4.3.7 La pesquería del erizo de mar *T. depressus*

La pesquería en las especies de este género prácticamente se registra esta actividad a *T. ventricosus* en Barbados desde 1879 hasta década de 1980 (Scheibling y Mladenov, 1987). Actualmente se ha potenciado desarrollo de investigaciones en el cultivo de *T. gratilla* (Scott, 2013). Actualmente no existe una pesquería formalmente establecida para la extracción de erizos de mar en Ecuador. Pese a ser un recurso marino que es aprovechado como alimento gourmet en muchas partes del mundo por su alto valor nutricional no se han ejecutado cultivos a escalas industriales.

El Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación ha ejecutado proyectos de inversión en el desarrollo de nuevas alternativas de cultivo de especies marinas y generación de conocimientos. Por tal motivo se han desarrollado investigaciones como el proyecto “Desarrollo de Protocolos de Domesticación para el Uso Sostenible de Nuevas Especies Marinas para Consumo de Alimentos y Repoblación de Bancos Naturales” tiene un enfoque de Desarrollar protocolos de producción de semillas de equinodermos de interés comercial y ecológico. Con el objetivo de promover una alternativa sostenible y rentable, hacia la diversificación de la matriz productiva acuícola del país.

1.4.3.8 La acuicultura del erizo de mar *T. depressus*

En el Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (CENAIM – ESPOL) desde el año 2013 ha venido realizando con éxito estudios sobre la especie en la ejecución de desarrollo de protocolo de adaptación y domesticación de reproductores de esta especie a condiciones en cautividad generando semillas de erizos con fines de repoblación, y posterior estudios en el crecimiento somático, desarrollo gonadal y supervivencia. Estos estudios contribuirán en desarrollo e inversión para diversificación de cultivo de erizos a nivel industrial.

Por tal motivo este estudio se evalúan dietas y condiciones de luminosidad dos factores (de modo independiente o combinados) que no han sido estudiados experimentalmente en esta especie de erizo de mar *T. depressus* con importancia para la actividad acuícola en la región. Por lo tanto, este estudio experimental tiene como alcance aportar conocimientos desde un contexto fisiológico y determinar el efecto los factores combinados (y no de manera independiente) ya que es necesario comprender las interacciones entre factores que afectan el crecimiento y la supervivencia en individuos en la etapa juvenil del erizo de mar *T. depressus* de 9 meses de edad.

Dentro de este estudio hay dos enfoques. Uno se refiere al cultivo de juveniles sin depender de la captura de reproductores del mar, y para ello, se requiere cerrar el ciclo y producir animales con gónadas grandes no reproductivas para comercializarlas en el mercado y animales que produzcan con gónadas que sirvan para reproducción y produzcan gametos viables) y, el segundo, refiere acelerar el crecimiento somático con aumento del tamaño y mejorar de la calidad de las gónadas (con características organolépticas específicas, en cuanto a color, sabor, textura y firmeza) para su comercialización y consumo desde la etapa de juveniles cultivados en cautiverio. Por tal motivo, se realizaron dos experimentos independientes, pero con interacción de factores. En ambos experimentos se estudiaron los efectos de la dieta y de la condición de iluminación con el tamaño del animal. El objetivo de ambos estudios fue contribuir con información básica sobre la biología y ecología de esta especie de erizo de mar ruderal (especie de rápido crecimiento y formación temprana de gónadas) para optimizar protocolos, para el manejo y aporte de reproductores en las distintas fases que implica la crianza del erizo de mar *T. depressus* en Ecuador.

CAPÍTULO 2.

2. JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS DE ESTUDIO

2.1 Justificación del estudio

Los erizos de mar son un componente estructural principal de los ambientes marinos que se encuentran en todos los océanos (Maluf, 1988). Estos organismos son un importante modelo para la investigación en biología del desarrollo y también en temas pesqueros en muchas regiones de mundo.

La alta demanda de producción de gónadas de erizo de mar para consumo humano asociado a la drástica disminución de la densidad en poblaciones naturales de varias especies de erizos por efecto de la sobreexplotación pesquera ha hecho que aumente el interés por la acuicultura del erizo de mar alrededor del mundo (Sala et al., 1998).

Ecuador posee especies nativas interesantes de erizos de mar, por ejemplo: *Tripneustes depressus*) que representan un potencial para la diversificación acuícola del país y en la región. No obstante, como era de esperar, se ha dado mucho énfasis en conducir los estudios de acuicultura con aquellas especies tradicionales que tienen crecimiento indeterminado y lento en regiones frías y templadas, pero no en especies de rápido crecimiento del trópico. *T. depressus* sería la segunda especie de erizo de mar latinoamericana, después de *Loxechinus albus* (especie de lento crecimiento) que se podría empezar a cultivar de modo exitoso.

La anatomía y fisiología de los erizos de mar está influenciada en gran medida por la calidad y cantidad de alimentos, y la disponibilidad de alimentos afecta la distribución y asignación de recursos a los diferentes componentes del crecimiento somático y gonadal.

En términos generales, la calidad de la dieta tiene relación con el crecimiento somático y el desarrollo y crecimiento de las gónadas, junto con un acondicionamiento de un régimen de luz / oscuridad establecido, con el fin de obtener y garantizar un crecimiento somático y gonadal rápido.

Por este motivo, el presente estudio propone realizar dos experimentos independientes con juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* (antes de alcanzar la etapa adulta donde fueron seleccionado con un rango de tamaño inicial del erizo, para el comienzo de experimentos con el fin de estimar los cambios morfológicos y así medir el efecto de dietas algales suministradas y las condiciones de iluminación en todo

el proceso de experimentación del cultivo, con respecto al crecimiento somático, producción de gónadas que sirvan para consumo (en cuanto a color, sabor, textura y firmeza) y supervivencia, semejante a la que proporcionan los adultos provenientes de la población silvestre del erizo de mar de interés comercial *Tripneustes depressus*. Estos ensayos permitirá optimizar protocolos para manejo y aporte de reproductores en las distintas fases que implica la crianza del erizo de mar *T. depressus*.

En Ecuador, investigadores del Laboratorio de Equinodermos del Cenaim – Espol, a través del Proyecto: PIC-2014-CENAIM-002. “Desarrollo de protocolos de domesticación para el uso sostenible de nuevas especies marinas para consumo de alimentos y repoblación de bancos naturales” una alternativa competitiva en generar diversificación de la matriz productiva acuícola del país, basada en una acuicultura de repoblación del erizo de mar *T. depressus* en la provincia de Santa Elena.

2.2 Planteamiento de hipótesis del estudio

Los diseños experimentales independientes desarrollados en juveniles del erizo de mar *T. depressus* determinaron que su crecimiento (en diámetro y peso), producción de gónadas (índice gonadal) y supervivencia son afectados por el tipo y calidad del alimento, fotoperiodo y el tamaño inicial de los individuos de la población para fines de acuicultura.

2.3 El problema de investigación

Los equinodermos son un filo de animales deuterostomados exclusivamente marinos bentónicos que habitan desde las costas hasta las grandes profundidades en todos los mares del mundo. Su nombre refiere a su exclusivo esqueleto interno formado por osículos calcáreos. Tienen alta importancia biológica experimental, ecológica y comercial. Desde la biología experimental han servido para estudiar y relacionar a la citología, fisiología y bioquímica para interpretar, explicar e implementar procesos de la salud humana y animal. Desde lo ecológico, han definido las estructuras de comunidades biológicas marinas y facies bionómicas (por ser euritermos sedentarios de amplia distribución batimétrica y formar agrupaciones compactas homogéneas) para evaluar la productividad secundaria del mar por su biomasa del bentos nerítico. Desde lo comercial, en algunos países (China, Japón, España, Francia, Chile, entre otros) los erizos de mar y los pepinos de mar son considerados delicias y manjares del mar para

consumo humano (por ejemplo, las gónadas de erizos de mar: “uni” y el cuerpo del pepino de mar: “trepang” o “Bêche-de-mar”) por su valor nutricional (proteínas de alta calidad y presencia de aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales, especialmente calcio, magnesio, hierro y zinc). Por otra parte, estudios farmacológicos recientes han demostrado que varias especies de erizos y pepinos de mar poseen importancia por sus propiedades medicinales por ser angiogénico, anti-hipertensivo, anti-inflamatorio, anti-microbiano, anti-oxidante, anti-trombótica, anti-tumoral, entre otros (Caso, 1972, 1978; Kelly, 2005; Pearse, 2002, 2006; Bordbar et al. 2011; Purcell et al. 2016).

Pese a la importancia que poseen los equinodermos, en Ecuador la información generada por investigación y estudios técnicos es bastante limitada (Sonnenholzner et al. 2013). Sin el fundamento de criterios de una investigación en biología pesquera, se estableció una pesquería del pepino de mar *Isostichopus fuscus* en las Islas Galápagos desde 1989. En consecuencia, hoy las poblaciones de *I. fuscus* en Galápagos se encuentran bastante disminuidas por sobre explotación. Por efecto, el Parque Nacional de Galápagos (PNG) tomó la medida de cerrar esta pesquería por cinco años hasta que estudios demuestren la recuperación de las poblaciones. A la par, *I. fuscus* y otras especies no declaradas de holoturias son explotadas de modo ilegal en la costa continental, pese a que existe prohibición de pesca. El sector pesquero artesanal de Galápagos, en 1998 solicitó a la Autoridad Interinstitucional de Manejo y al PNG se establezca la pesquería del recurso erizo de mar *Tripneustes depressus*. La recomendación que se emitió fue que se debiera generar suficiente información biológica y ecológica de la especie, previa a iniciar una nueva explotación pesquera en Galápagos.

Dadas las circunstancias y la importancia del tema, el Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas de la Escuela Superior Politécnica del Litoral presentó a la Senescyt el proyecto titulado: “Desarrollo de protocolos de domesticación para el uso sostenible de dos especies de equinodermos para consumo de alimentos y repoblación de bancos naturales, PIC-2014-CENAIM-002” con el propósito de desarrollar protocolos validados de producción que promuevan una alternativa sostenible hacia la diversificación de la matriz productiva acuícola del país.

2.4 Descripción del problema

Sonnenholzner y colaboradores (2018) demostraron que el erizo de mar de interés comercial, *T. depressus* alcanza los 4 cm de diámetro a los 188 días después de la metamorfosis y puede reproducirse después de seis meses de vida, cuando alcanza aproximadamente 4,2 cm de diámetro, aunque las gónadas todavía no son comerciales en tamaño. Los autores reconocieron que este protocolo es inicial y hay que seguir mejorándolo para la acuicultura de juveniles del erizo de mar *T. depressus*.

Dado este importante avance técnico para el erizo de mar *T. depressus* en Ecuador, se requiere desarrollar estudios experimentales que evalúen el crecimiento (en diámetro y peso), producción de gónadas y supervivencia bajo el efecto de distintas dietas, condiciones ambientales de iluminación y el tamaño inicial del individuo efecto de diversas dietas de macroalgas y condiciones de iluminación a un grupo de erizos seleccionados y determinados para la fase de experimentación observando las variables de crecimiento somático (talla y peso), supervivencia, desarrollo gonadal, consumo de alimento, producción de heces, conversión de alimento. En donde y cuyo fin es obtener resultados para la domesticación y realización de protocolos de manejo para cultivo erizos, que ayuden a la ejecución de futuros proyecto de inversión en cultivo de equinodermos en Ecuador.

2.5 Formulación del problema

El Instituto Tecnológico “Luis Alboleda Martínez” presenta el apoyo del Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas CENAIM-ESPOL, por ello ejecutaron y evaluaron dos experimentos donde se midieron los efectos de la dieta y de la condición de iluminación con el tamaño del animal. El objetivo de ambos estudios es contribuir con información básica sobre la biología y ecología de esta especie de erizo de mar ruderal (especie de rápido crecimiento y formación temprana de gónadas) para optimizar protocolos, para manejo y aporte de juveniles en las distintas fases que implica la crianza del erizo de mar *T. depressus* en Ecuador

CAPÍTULO 3.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar el crecimiento, índice gonadal y supervivencia del erizo de mar *Tripneustes depressus* en condiciones experimentales de laboratorio.

3.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos de esta tesis son presentados mediante el desarrollo de dos experimentos independientes, que son: 1) determinar el efecto combinado de la dieta algal y el tamaño inicial de los individuos en la tasa de crecimiento, producción de gónadas y supervivencia del erizo de mar *Tripneustes depressus* y 2) determinar el efecto combinado del fotoperiodo y el tamaño inicial de los individuos en la tasa de crecimiento, producción de gónadas y supervivencia del erizo de mar *Tripneustes depressus*.

Con base en ambos experimentos tenemos los siguientes cinco objetivos planteados por tratamiento de cada experimento:

- Determinar la tasa de crecimiento somático en diámetro de testa y peso del erizo de mar *T. depressus*.
- Determinar el índice gonadal del erizo de mar *T. depressus* al inicio y al final del experimento.
- Determinar la tasa de consumo de alimento y de producción de heces.
- Determinar el factor de conversión alimentaria del erizo de mar *T. depressus*.
- Determinar la supervivencia del erizo de mar *T. depressus*.

CAPÍTULO 4.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Procedimiento ético para estudios experimentales

A nivel mundial existen protocolos que estipulan aspectos éticos a tener en cuenta al momento de trabajar con animales. Estos estudios se definen por dos características. La primera es que los investigadores tienen control sobre el factor de estudio, es decir, deciden qué tratamiento, con qué pauta y durante cuánto tiempo recibirá cada uno de los grupos de estudio.

A pesar de que se podría llegar a pensar que los equinodermos en general son organismos muy simples, esto no es así. Primero se encuentran muy relacionados evolutivamente con los vertebrados y segundo poseen un sistema nervioso centralizado altamente especializado y órganos sensoriales distribuidos a través de todo su cuerpo. Por esta razón es completamente coherente suponer que son altamente susceptibles al estrés, dolor y cambio ambientales.

Es fundamental y necesario establecer y cumplir protocolos de manejos durante la manipulación de estos organismos, el transporte, el mantenimiento en tanques o canastas, la alimentación, la salud y finalmente, en muchos casos prevenir la muerte de los animales.

4.2 Procedencia del erizo de mar *T. depressus*

Los erizos de mar *T. depressus* utilizados en los experimentos corresponden a la producción de erizos de mar de la cohorte del 13 de mayo del 2017 (nueve meses de edad). El cultivo se realizó utilizando reproductores extraídos del sector de Palmar, Santa Elena y la reproducción se realizó en el Laboratorio de Equinodermos en las instalaciones del Cenaim – Espol, San Pedro de Manglaralto, Santa Elena, en el marco del Proyecto: PIC-2014-CENAIM-002.

4.3 Diseño de experimentación

4.3.1 Experimento 1

El experimento 1 se diseñó con dos tratamientos, dos factores con dos niveles por tratamiento. Los factores fueron: tamaño inicial de los individuos y la iluminación. Los niveles para el factor tamaño de los individuos fueron: grande y pequeño, y los dos niveles para el factor de iluminación fueron: fotoperiodo natural y oscuridad continua.

Para el experimento se utilizó la dieta del alga café *Padina durvillaei*. Seis repeticiones por tratamiento ($n = 6$). Los control consistió en unidades experimentales donde los individuos no recibieron alimento (estuvieron en estado de inanición) ($n=2$). Los tratamientos fueron asignados y acomodados de modo aleatorio. El diseño de experimento es factorial completo aleatorio simple. La nomenclatura empleada para asignación de los tratamientos fue: (i) erizo pequeño con fotoperiodo natural = pF; (ii) erizo pequeño en oscuridad = pO; (iii) erizo grande con fotoperiodo natural = gF; (iv) erizo grande en oscuridad = gO. La nomenclatura utilizada para los controles fue: erizos pequeños control en fotoperiodo natural = pFC; erizos pequeños control en oscuridad = pOC, erizos grandes control en fotoperiodo natural = gFC; erizos grandes control en oscuridad = gOC. La (Tabla D) presenta el esquema del diseño del experimento y la (Tabla A) muestra el detalle de las especificaciones del experimento.

4.3.1.1 Procedimiento

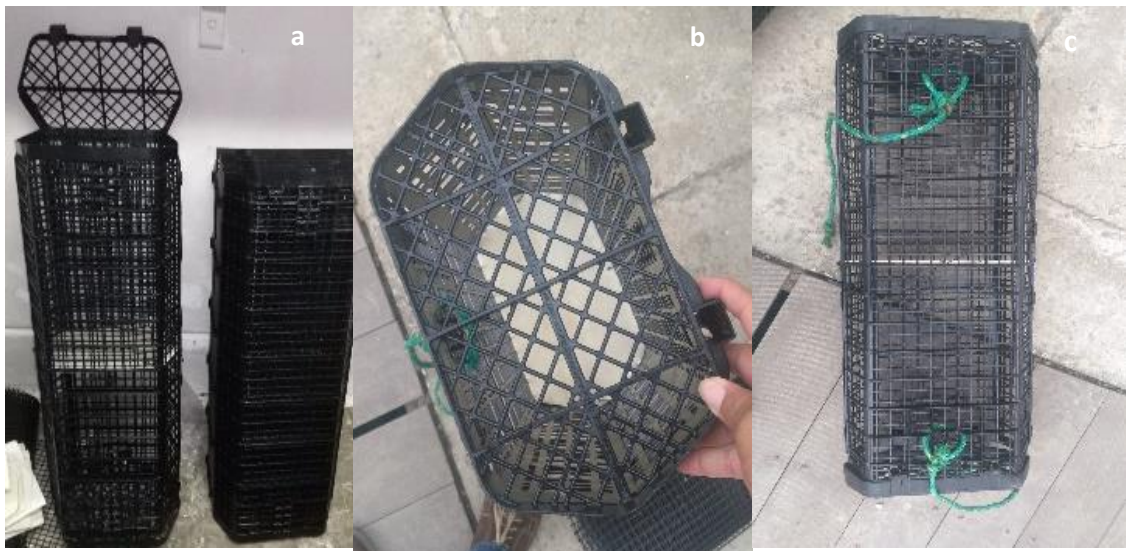


Figura 5. Experimento 1. (a) Canastas utilizadas, (b) placas de PVC, (c) separaciones de dos unidades experimentales, en el experimento 1 del erizo de mar *Tripneustes depressus* (Agassiz, 1863) en condiciones de fotoperiodo natural y oscuridad.

Se utilizaron 196 erizos de mar *T. depressus* de la cohorte del 13 de mayo del 2017 (14 individuos por tratamiento, siete individuos por repetición de ambos tamaños). Los animales seleccionados tuvieron distinto diámetro de testa (dos tamaños: erizos pequeños y erizos grandes). La talla de los erizos pequeños (talla promedio \pm error estándar) fue $25,0 \pm 1,1$ mm DT y la de los erizos grandes fue $37,0 \pm 1,1$ mm DT. Se

colocaron al azar siete erizos de la misma talla en cada una de las 14 canastas flotantes de plástico de 20 litros de capacidad (*Hexil Basket Oyster-2028* (732 mm L x 270 mm A x 140 mm H) y 20 mm (3/4) (fig. 5a) separándolas en dos partes (366 mm L x 270 mm A x 140 mm H) con separaciones de PVC (270 mm A x 140 mm H, (fig. 5b) obteniendo dos unidades experimentales en cada una de ellas (Fig. 5c).

Los animales en las canastas fueron mantenidos en condiciones de oscuridad continua (0L: 24O) y fotoperiodo natural (12L:12O). Los tratamientos de fotoperiodo 12L: 12O (expuestos a una irradiancia natural de $12.24\text{-mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$ por 12 horas) será para los animales ubicados en tanques exteriores y los de continua oscuridad serán para canastas plásticas recubiertas con bolsas gruesas de plástico negro ($0\text{-mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$ por 24 horas). Se utilizaron como dieta única el alga marina: *Padina durvillaei* (alga café). Por revisión de la literatura científica y observaciones en el laboratorio se determinó que esta alga es consumida por los erizos de mar.

Las unidades experimentales fueron canastas plásticas *Hexil basket oyster-2028* (comúnmente utilizadas para cultivo de bivalvos). Los tratamiento controles para ambos experimentos consistieron en unidades experimentales donde los animales no recibirán alimento (estado de inanición permanente Los erizos fueron alimentados tres veces por semana por 12 semanas para cada unidad experimental).

La ración inicial de algas fue 3 % de la biomasa, equivalente a 90 gramos para erizos grandes y 30 gramos para erizo pequeños. La ración final fue de 50 gramos para erizos grandes y 25 gramos para erizos pequeños. El alga fue recolectada mensualmente en Santa Elena y transportada al laboratorio. En el laboratorio las algas fueron lavadas con agua dulce y se les removerá sedimentos, invertebrados y plantas epifitas adheridos a las hojas. Las algas fueron pesadas antes (al momento de colocarlas) y después (al ser retiradas de cada unidad experimental) con el fin de estimar la tasa de consumo promedio por tratamiento.

Los erizos de mar del control no fueron alimentados durante el tiempo que dure el experimento. Las mediciones de talla y peso de los erizos de mar se realizaron una vez por mes. Se midieron la talla (registrado como diámetro de testa, DT) con vernier caliper (expresado en milímetros) y el peso de los individuos (expresado en gramos) con una balanza gramera (precisión de 0,01 g). Los animales fueron pesados sin el peso añadido del alimento contenido en sus intestinos. Por ello, los animales permanecieron sin comer durante tres días para asegurar que el intestino haya mayormente evacuado su

contenido, hasta antes de registrar el peso. Se hicieron recambios continuos de agua y con aireación constante. La temperatura del agua fluctuó aproximadamente entre 24 y 27°C y la salinidad fue 35‰. El experimento duro 3 meses o 90 días (desde finales de mes enero a comienzo del mes de mayo del 2018). Las variables fueron medidas a intervalos mensuales. El experimento fue realizado en el área exterior (en dos tanques de 5,000 litros de capacidad) del Cenaim. Se utilizaron controles de algas solas sin erizos para determinar la pérdida de peso en las algas debido al cambio autogénico de las mismas. El consumo se estimó utilizando la ecuación anteriormente descrita (ver experimento 2).

4.3.2 Experimento 2

El experimento 2 se diseñó con 12 tratamientos, dos factores y entre dos y cinco niveles por tratamiento. Los factores fueron: tamaño inicial de los individuos y la dieta. Los niveles para el factor tamaño de los individuos fueron: grande y pequeño, y los cuatro niveles para el factor dieta fueron: Dieta 1: *Padina durvillaei* (alga café) (Fig. 7a); Dieta 2: *Sargassum ecuadorianum* (alga café) (Fig. 7c); Dieta 3: *Kappaphycus alvarezii* (alga roja) (Fig.7c) y Dieta 4: mezcla de las tres algas. El alga *K. alvarezii* tiene tres morfotipos de colores: rojo, café y verde. Para el experimento se utilizó el morfotipo verde. Tres repeticiones por tratamiento (n = 3). El control consistió en unidades experimentales donde los individuos no recibieron alimento (estuvieron en estado de inanición). Los tratamientos fueron asignados y acomodados de modo aleatorio.

El diseño de experimento es factorial completo aleatorio simple. La nomenclatura empleada para asignación de los tratamientos fue: (i) erizo pequeño con dieta *P. durvillaei* = pP; (ii) erizo pequeño con dieta *S. ecuadorianum* = pS; (iii) erizo pequeño con dieta *K. alvarezii* = pK; (iv) erizo pequeño con dieta mezclada de todas las algas = pM; (v) erizo grande con dieta *P. durvillaei* = gP; (vi) erizo grande con dieta *S. ecuadorianum* = gS; (vii) erizo grande con dieta *K. alvarezii* = pK y (viii) erizo grande con dieta mezclada de todas las algas = gM. La nomenclatura utilizada para los controles fue: erizos pequeños control = pCo; erizos grandes control = gCo. La (Tabla.C presenta el esquema del diseño del experimento y la (Tabla. B) muestra el detalle de las especificaciones del experimento.

4.3.2.1 Procedimiento

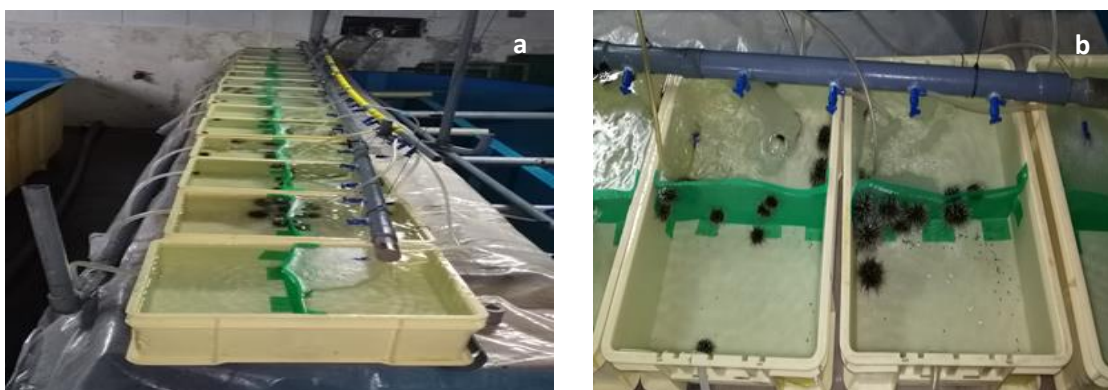


Figura 6. Experimento 2. (a) Gavetas plásticas, (b) malla de 300 micras. Utilizadas en el experimento del erizo de mar *Tripneustes depressus* (Agassiz, 1863) en condiciones de diferentes dietas.

Se utilizaron un total de 210 erizos de mar *T. depressus* de la cohorte del 13 de mayo del 2017 (14 individuos por tratamiento, siete individuos por replica). Los individuos elegidos por su tamaño (diámetro de testa) fueron seleccionados al azar: (i) erizos pequeños de $15,0 \pm 1,1$ mm DT y (ii) erizos grandes de $25,0 \pm 1,1$ mm DT. Las unidades experimentales fueron 15 gavetas de plástico de 20 litros de capacidad de dimensiones (45 cm de largo x 32 de ancho x 13cm) (Fig. 6a). Se en dos partes utilizando una malla de 300 micras (Fig. 6b), donde los erizos de mar de la misma talla fueron colocados al azar en las gavetas y en cada separación respectivamente. Por revisión de la literatura científica y observaciones experimentales previas en el laboratorio se determinó que las algas son consumidas por erizos de mar. Se probaron cuatro dietas de algas marinas: *Padina durvillaei* (alga café), *Sargassum ecuadoreanum* (alga café) y *Kappaphycus alvarezii* (alga roja). El alga roja *K. alvarezii* tiene tres morfotipos de colores: rojo, café y verde. Se usó el morfotipo verde (Fig. 7a). Los erizos de mar fueron alimentados tres veces por semana, durante 12 semanas (90 días).

La ración del alimento varió conforme varió la biomasa de los erizos hasta el final del experimento. La ración inicial de algas fue 0,6 % de la biomasa, equivalente a 25.4 gramos de algas para erizos grandes y 5.9 gramos de algas para erizos pequeños por cada tratamiento. La ración final fue 0,5 % de la biomasa, equivalente a 50 gramos de algas para erizos grandes y 12,5 gramos de algas para erizos pequeños por cada tratamiento. Las recolecciones de las algas marinas cafés (*P. durvillaei* y *S. ecuadoreanum*) se hicieron cada quince o treinta días en la localidad de Ballenita, Santa Elena. El alga roja *K. alvarezii* fue recogida de los tendidos de cultivo de la estación de

Santa Rosa, Santa Elena. Las frondas de las algas fueron seleccionadas previamente y pesadas en fresco. Las algas fueron transportadas al Cenaim. Se procedió a lavarlas con agua dulce y se les removió sedimentos, invertebrados y epifitas adheridos a las hojas. Los pesos fueron registrados tres veces por semana, uno al inicio, al momento de entregar el alimento, y al final, cuando fueron ubicadas en cada unidad experimental con el fin de estimar la tasa de consumo de algas promedio por semana y por tratamiento. Las heces producidas fueron recolectadas de cada gaveta utilizando sifón con manguera y retenidas con filtro de 300 micras y pesadas tres veces por semana, tras la entrega del alimento con el fin de estimar la producción de heces por tratamiento.

Los erizos de mar del control no recibieron alimento durante el tiempo que duró el experimento. Las mediciones de talla y peso de los erizos de mar se hicieron una vez por mes. La talla (diámetro de testa, DT) se midió con un vernier caliper (expresado en milímetros) y el peso de los individuos (expresado en gramos) con una balanza gramera (precisión de 0,01 g). Los animales fueron pesados sin el peso añadido del alimento contenido en sus intestinos. Por ello, los animales permanecieron sin comer durante tres días para asegurar que habían evacuado gran parte de sus contenidos, antes de registrar el peso. Se hicieron recambios continuos de agua y los erizos de mar permanecieron con aireación constante. La temperatura del agua fluctuó aproximadamente entre 24 y 28 °C y la salinidad fue 35 ‰. El experimento duró tres meses o 90 días (desde finales de mes enero a comienzo del mes de mayo del 2018). Las variables fueron medidas a intervalos mensuales. El experimento se realizó en el set experimental 8 del Cenaim – Espol. El consumo se estimó utilizando la siguiente ecuación de Duarte et al. (2014):

$$(E_{inicial} - E_{final}) - (C_{inicial} - C_{final}) = Consumo$$

Dónde:

$E_{inicial}$ = *Peso inicial en tratamiento*

E_{final} = *Peso final en tratamiento*

$C_{inicial}$ = *Peso inicial en el control*

C_{final} = *Peso final en el control*

4.3.3 Tratamiento de las muestras

4.3.3.1 Tasa de crecimiento (en diámetro y peso)

La talla de los erizos de mar se midió como el diámetro de la testa (DT) con un calibrador vernier (0,1 mm de precisión) desde el centro del ambulacro hacia el centro opuesto del íterambulacro. El peso húmedo total (después de haber escurrido el agua superficial del cuerpo del erizo durante 10 segundos) se midió con una balanza electrónica (0,01 g de precisión). Los pesos se hicieron en animales que no contengan alimento en sus intestinos (fueron mantenidos por tres días sin alimentación hasta que evacuen y sean pesados). El peso de las algas marinas (cantidad de alimento a utilizar) y del material recolectado de las unidades experimentales (heces y restos de macroalgas) fue registrado con una balanza gramera. Realizando tres mediciones alternadas e independientes por erizo con el propósito de obtener la media de las mediciones de la talla (evitar el efecto del error de mediciones). Una vez registrado el peso la talla, y disecciones se procedió a colocar los erizos en recipientes de plásticos y fijarlos con una solución de alcohol al 97%.

Los experimentos duraron 3 meses equivalentes a 90 días (de enero a mayo del 2018). Las variables fueron medidas a intervalos mensuales. Los trabajos de medición para el experimento 1 fueron realizados en la sala experimental set 8, mientras que para el experimento 2 fueron realizados en área tanques exterior del Cenaim.

El crecimiento se midió como cambios en la masa, gramos (g) y DT (mm) a intervalos mensuales. Crecimiento para ambas variables (masa y DT) se calculó como un porcentaje cambio durante el período de cuatro meses (masa medida en gramos; DT medida en mm) ecuación utilizada por Seymour et al. (2013):

La tasa de crecimiento específico (SGR) se calculó de la siguiente manera:

$$\text{SGR (\%day}^{-1}\text{)} = [(\ln \text{TD}_2 - \ln \text{TD}_1) / \Delta_t] 100$$

Donde ln es logaritmo natural, TD₁ y TD₂ son los diámetros de prueba promedio de los erizos de mar (en centímetros) al tiempo 1 y 2 en días, respectivamente y Δ_t es el intervalo de crecimiento en días (t₂ - t₁). SGR se expresa como porcentaje del aumento de tamaño de erizo de mar por día.

4.3.3.2 Consumo de alimento

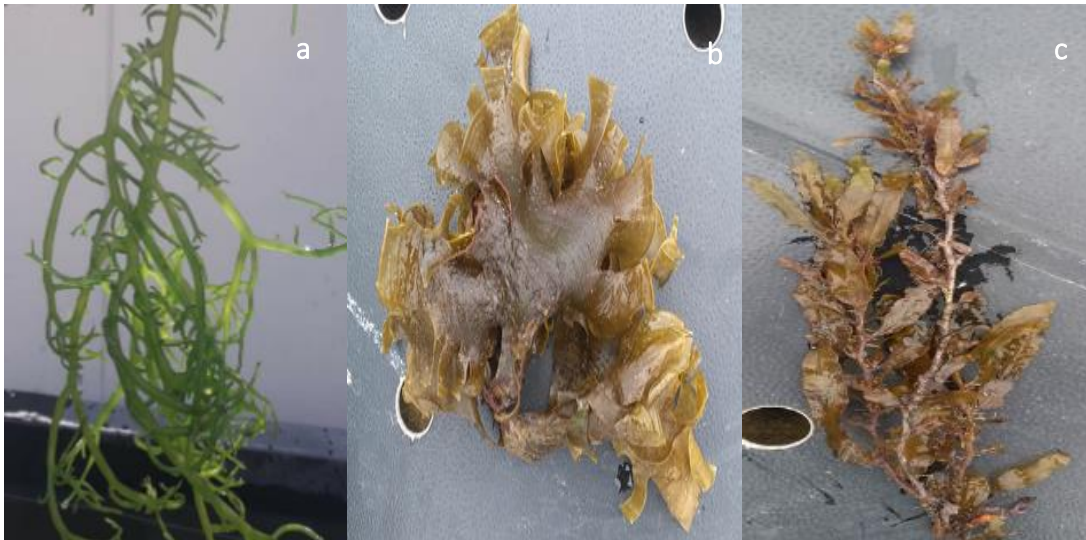


Figura 7. Fotografías de las algas marinas utilizadas en los experimentos 1 y 2: (a) *Kappaphycus alvarezii* (Doty), (b) *Padina durvillei* Bory y (c) *Sargassum ecuadoreanum* Taylor.

Se utilizaron macroalgas que fueron extraídas del mar una vez por mes. La logística establecida para ir a cosechar las algas del mar y traerlas al Centro del sector de ballenita-Santa Elena, siguiendo el protocolo de trabajo del Laboratorio. Las algas cafés *Padina durvillaei* y *Sargassum ecuadoreanum* fueron mantenidas a la sombra sobre un marco de madera con malla para el secado. Las algas *Kappaphycus alvarezii* fueron mantenidas en tanques con agua de mar a la intemperie en tanques de 1,000 litros de capacidad con aireación y flujo continuo de agua. La tasa de consumo de algas se midió semanalmente y fueron expresados como el peso de las algas consumidas por erizo por día. El FCA tanto para la condición de fotoperiodo y para cada dieta de algas se calculó a partir de consumo mensual de cada tratamiento de algas consumidas por los erizos. La masa de algas es una estimación confiable dado que el alimento se consumió rápidamente y se reemplazó regularmente. El FCA se determinó como la cantidad de materia consumida a lo largo del experimento dividido por el crecimiento (g) del erizo, representado por la fórmula de Seymour et al. (2013):

$$FCA = \frac{\text{total de gr de Algas consumidas}}{\text{Peso final de erizo}}$$

4.3.3.3 Producción de heces

Las heces producidas fueron recolectadas, mediante procedimiento de sifón en ambos experimentos, en tratamiento de dietas, en cada gaveta se recolecto las heces utilizando mangueras de (diámetro interno de 8 mm y diámetro exterior de 12 mm) y retenidas en filtro hecho de PVC, tubos de (3 pulgadas) adaptando una malla de 300 μm . En los tanques donde se encontraban ubicados los tratamientos de fotoperiodo (12L:12O y oscuridad completa) para la extracción de heces se utilizaron mangueras de 2 pulgada de diámetro x 2 m de largo, esta provista con unas mallas de 300 micras su extremo. Las heces fueron extraídas y pesadas tres veces por semana, tras la entrega del alimento con el fin de estimar la tasa de producción de heces calculada en gramos por tratamiento. Se mantuvieron con recambios continuos de agua y con aireación constante. Las gavetas del experimento 1 fueron limpiadas una vez por semana utilizando jabón neutro y agua dulce para evitar contaminación de bacterias y protozoarios.

4.3.3.4 Medición del *fouling* de jaulas suspendidas

Los procedimientos de limpieza y mediciones de *fouling* de canastas y tanque se establecieron con un régimen de trabajo semanal. Debido a la acumulación de algas filamentosas. Esta acumulación de *fouling* se registró una vez al mes durante los tres meses de experimentación, dichos datos se registraron en bitácora y base de datos Excel. Para estés procedimiento se utilizaron (cepillos, escobas, franelas) para la extracción del *fouling* y recolectándolas en gaveta plástica para posteriormente ser recolectado con un filtro de 300 μm y ser pesados su registrados.

4.3.3.5 Extracción de las gónadas



Figura 8. Fotografías del estado gonadal (a), (b) fijación con alcohol al 98%, (c) determinación de sexo, del erizo de mar juvenil *Tripneustes depressus*. Agassiz 1863.

Las extracciones de gónadas a erizos para ambos experimentos, se ejecutó secuencialmente una vez obtenidos los datos de mediciones totales de talla y peso de cada uno los erizos que a su vez de forma aleatoria se procedió a la selección un (n= 3) erizos por tratamiento de ambos tamaños (erizos grandes y pequeños) para realizar las dicciones y obtener el peso de gónadas en tal caso se encontrara un desarrollo gonadal (Fig. 8a). Esta extracción de gónadas se pesó con una balanza analítica para obtener con presión el peso total en gramos y fueron acumuladas en un recipiente de plástico para fijadas con una solución de alcohol al 97% (Fig. 8b).

4.3.3.6 Determinación de sexo

La determinación de sexo se realizó una vez que culminado el pesado de gónadas en balanza la analítica, para posteriormente ser observadas con ayuda de un estereoscopio y microscopio respectivamente (Fig. 8c) se terminó el sexo exacto de los gametos registrándolos en la hoja guía de datos de parámetros biológicos (Tabla. E).

4.3.3.7 Índice gonadal (IG%)

IG se determinó al final de cada experimento, al muestrear el número restantes de erizos para ambos experimento, de ambos tamaños para de cada tratamiento con dieta y para condiciones de fotoperiodo. Las gónadas fueron cuidadosamente

recolectadas y pesadas para proceder a calcular en porcentaje utilizando la ecuación IG Seymour et al. (2013):

$$\text{IGS (\%)} = \frac{\text{Peso de las gónadas (g)}}{\text{peso total (g)}} \times 100$$

4.3.3.8 Supervivencia

En los erizos de mar el crecimiento implica los siguientes cambios: (i) El crecimiento (implica cambios a nivel del diámetro del caparazón (tamaño) y en biomasa (peso), procesos que necesariamente involucran tener que expandirse, calcificar y producir tejidos blandos como las gónadas). Y (ii) Para el proceso de calcificación, requieren la intervención de diferentes enzimas. El crecimiento es un proceso que puede ocurrir en condiciones de oscuridad y afectado por la calidad de la dieta, que a su vez tiene una relación directa con el crecimiento, desarrollo y maduración de las gónadas (Al-Horani *et al.* 2007; Moya et al. 2008).

Por tal motivo los tratamientos de controles para ambos experimentos consistieron en unidades experimentales donde los erizos no recibieron alimento (estado de inanición permanente durante los tres meses de experimentación "Los controles negativos se dejaron en estado de inanición debido a que la fisiología de estos animales les permite adaptarse a largos periodos sin alimento, reduciendo al mínimo el funcionamiento de su metabolismo y entrando en un estado de aletargamiento. Esta característica nos permitirá cuantificar con más precisión el incremento de crecimiento, tanto somático como gonadal, derivado de las diferentes dietas, e interacciones de fotoperiodo ya que el uso de macro algas suministradas como alimento podría producir un cambio en el índice gonadal de los erizos que no podríamos cuantificar.

La supervivencia de los erizos se midió en cada experimento contando el número de animales muertos. Se utilizó hoja guía para captura y registro de datos (ver Tabla E). Posteriormente estos datos fueron pasados a una bitácora y procesados en una hoja electrónica de Excel. 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, se calculó por medio de la siguiente ecuación.

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

4.3.3.9 Calidad del agua y parámetros ambientales

Los experimentos se realizaron en el set experimental No. 8 y el área exterior del lado posterior del Cenaim. Se armaron escuadras de tubo de PVC de ½ pulgada para el armado del sistema de aire y agua adaptando mangueras con piedras difusoras y mangueras para la entrada y salida de agua adaptas a las gavetas de plástico para el experimento 1. Para el experimento 2 se utilizaron canastas *Hexil Basket* colocadas en tanques raceways de 5,000 litros de capacidad. Para la aireación se utilizaron piedras difusoras.

Temperatura del agua.—La temperatura del agua fueron registradas con un equipo manual, grabado diariamente por una sonda multiparamétrica (EcoSense pH100A Meter). Que tuvo una fluctuación de 23 a 28°C en el tiempo de experimentación.

Oxígeno Disuelto.—Los datos de oxígeno disuelto del agua fue registrado con un equipo manual, grabado diariamente por una sonda multiparamétrica (EcoSense pH100A Meter) Que tuvo un rango que fluctuó de 4 a 6 mg/l en el tiempo de experimentación.

4.3.3.10 Medición de luz y fotoperiodo

Para estos experimentos se tomaron las mediciones de intensidad de luz a los que se vieron expuestos los erizos con los tratamiento con luz y oscuridad, registrando tres lecturas con el luxómetro en tres horarios (6:30 AM, 12:00 AM, 16:00 PM) por tres días consecutivos, realizando este registro dos veces al mes. Desde el inicio del experimento hasta la finalización de estés para obtener registro de la exposición a la luz que se sometieron los erizos en la fase experimental.

4.3.4 Análisis de datos y estadístico

Los datos fueron tabulados y procesados en bases de datos Excel. Previo a realizar el análisis estadístico se verificó si se cumplieron los tres supuestos fundamentales estadísticos de independencia, normalidad y homocedasticidad. Los datos de supervivencia e índice gonadal (datos expresados en porcentaje) fueron transformados con la raíz cuadrada de arco-seno para suponer la normalidad y homogeneidad de varianzas. El análisis de varianza (ANOVA) de una y dos vías fueron utilizados para probar los efectos principales e interacciones en las variables de respuesta que fueron medidos, tales como la tasa de crecimiento en talla y peso, índice gonadal, tasa de consumo de algas, supervivencia. Cuando el Anova indicó diferencias significativas ($P < 0.05$), se realizó la prueba *post-hoc* de análisis de comparaciones pareadas de Tukey. Todos los datos fueron expresados en media \pm error estándar. Las pruebas estadísticas fueron realizadas utilizando el programa STATISTICA 10.0 (StatSoft, Inc., USA).

CAPÍTULO 5

5. RESULTADOS

5.1 Experimento 1

5.1.1 Tasa de crecimiento (en diámetro y peso)

Los erizos de mar del tratamiento de oscuridad en promedio crecieron más rápido en diámetro ($2,10 \pm 0,06$ cm, $F_{(1,20)} = 10,04$, $P = 0,0048$; Tabla 1a) y ganaron más rápido peso ($5,8 \pm 0,2$ g, $F_{(1,20)} = 5,8647$, $p = 0,0251$; Tabla 1b) que los individuos del tratamiento de fotoperiodo natural (diámetro: $1,96 \pm 0,09$ cm, Fig.9a; peso: $5,5 \pm 0,3$ g, Fig. 9b). Los individuos pequeños tuvieron una tasa de crecimiento mayor en diámetro ($2,27 \pm 0,03$ cm, $F_{(1,20)} = 159,59$, $P = 0,0000$; Tabla 1a) y peso ($6,4 \pm 0,1$ g, $F_{(1,20)} = 254,8$, $p = 0,0000$; Tabla 1a) que los grandes ($1,78 \pm 0,04$ cm, Fig. 9a; $4,9 \pm 0,08$ g, Fig. 9b). Hubo interacción entre los factores del experimento (condiciones de iluminación y tamaño de los individuos) en la tasa de crecimiento en diámetro, pero no en crecimiento de peso (Tabla 1a, b). Los erizos de mar pequeños y grandes en condición de oscuridad tuvieron la mayor tasa de crecimiento en diámetro (pequeños: $2,4 \pm 0,04$ cm; grandes: $1,9 \pm 0,04$ cm, $F_{(1,20)} = 4,4158$, $P = 0,04848$, Tabla 1a).

Tabla 1. Experimento 1. Pruebas de ANOVA de dos vías para las variables a) tasa de crecimiento en diámetro y b) tasa de crecimiento en peso en juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* del experimento 1.

Factores	SS	g.l.	MS	F	P
A					
Condición	0,1617	1	0,1617	18,99	0,0003
Tamaño	1,6695	1	1,6695	196,05	0,0000
Condición x Tamaño	0,0376	1	0,0376	4,42	0,0484
Error	0,1703	20	0,0085		
B.					
Condición	0,3088	1	0,3088	5,86	0,0251
Tamaño	13,4148	1	13,4148	254,79	0,0000
Condición x Tamaño	0,1607	1	0,1607	3,05	0,0960
Error	1,0530	20	0,0527		

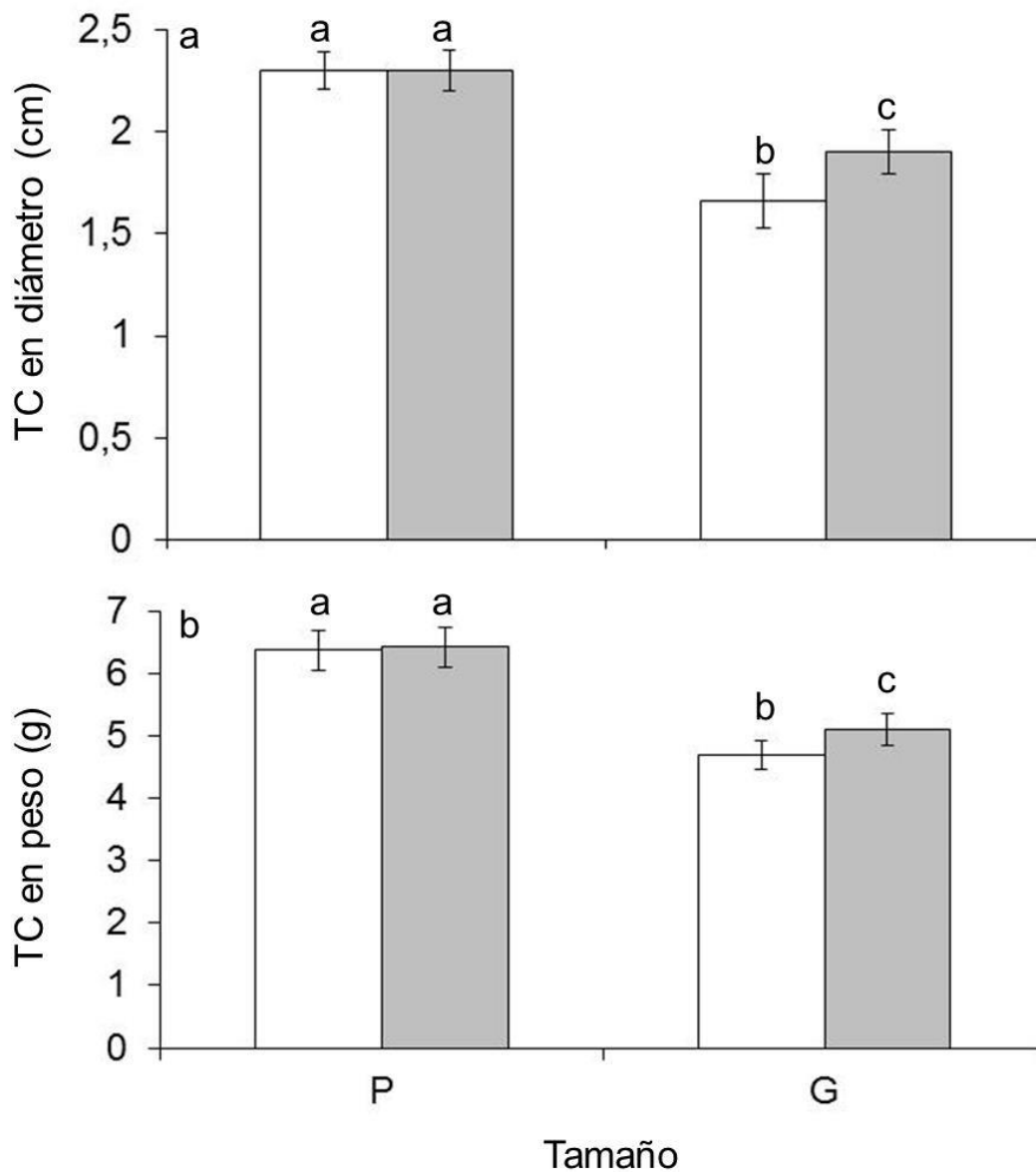


Figura 9. Interacciones en las pruebas de ANOVA de dos vías de los factores de condición de iluminación y tamaño de los individuos juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* del experimento 1, a) tasa de crecimiento en diámetro de la testa (expresado en centímetros) y b) tasa de crecimiento tasa en peso (expresado en gramos). Barras blanca y gris corresponden a los tratamientos de fotoperiodo natural y oscuridad, respectivamente. Letras P y G significan individuos pequeños y grandes, respectivamente.

5.1.2 Factor de Conversión Alimenticia (FCA)

Los erizos de mar del tratamiento de oscuridad en promedio tuvieron un FCA significativamente menor ($13,6 \pm 0,5$ g, $F_{(1,20)} = 27,648$, $P = 0,0000$; Tabla 2) comparado con el de los individuos del tratamiento de fotoperiodo natural que fue mayor ($15,4 \pm 0,8$ g, Fig.10). Los individuos pequeños tuvieron un FCA significativamente más bajo ($12,4 \pm 0,2$ g, $F_{(1,20)} = 159,59$, $P = 0,0000$; Tabla 2) que los individuos grandes ($16,6 \pm 0,5$ g, Fig. 10). Hubo interacción entre los factores del experimento (Tabla 2). Los erizos de mar pequeños en condición de fotoperiodo natural y oscuridad tuvieron los valores de FCA más bajos (fotoperiodo natural: $12,7 \pm 0,3$ g; oscuridad: $12,1 \pm 0,3$ g) que los grandes (fotoperiodo natural: $18,1 \pm 0,4$ g; oscuridad: $15,2 \pm 0,2$ g, $F_{(1,20)} = 12,390$, $P = 0,0022$, Tabla 2).

Tabla 2. Prueba de ANOVA de dos vías para la variable de Factor de Conversión de Alimento (FCA) en juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* del experimento 1.

Factores	SS	g.l.	MS	F	P
Condición	18,193	1	18,193	27,648	0,0000
Tamaño	106,292	1	106,292	161,534	0,0000
Condición x Tamaño	8,153	1	8,153	12,390	0,0022
Error	13,160	20	0,658		

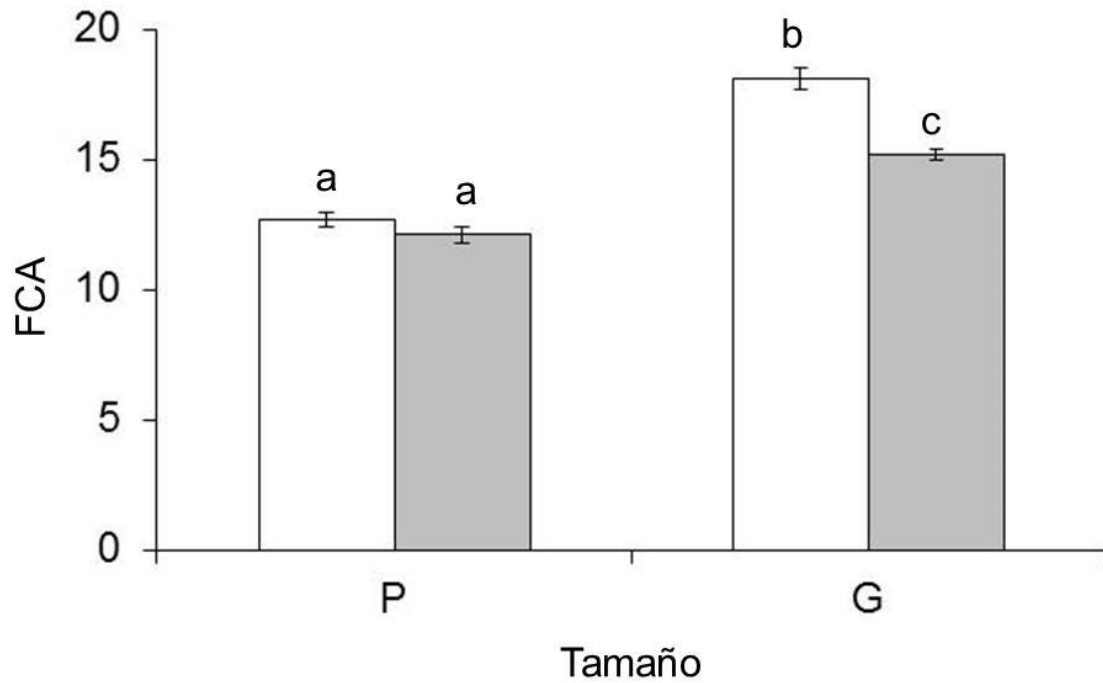


Figura 10. Interacciones en la prueba ANOVA dos vías de los tratamientos de iluminación y tamaño de los erizos juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* para la variable Factor de Conversión Alimenticia (FCA) del experimento 1. Letras P y G significan individuos pequeños y grandes, respectivamente. Barras blanca y gris corresponden a los tratamientos de fotoperiodo natural y oscuridad, respectivamente.

5.1.3 Índice gonadal (IG)

Los erizos de mar del tratamiento de oscuridad en promedio tuvieron un bajo IG comparado con el de los individuos del tratamiento de fotoperiodo natural que fue significativamente mayor ($1,2 \pm 0,2$ g, $F_{(1,20)} = 36,3$, $P = 0,0000$; Tabla 3). Los erizos de mar grandes tuvieron el IG más alto ($1,4 \pm 0,03$ g, $F_{(1,20)} = 108,6015$, $P = 0,0000$; Tabla 3). Hubo interacción significativa entre los factores del experimento (Tabla 3). Los erizos de mar en condición de fotoperiodo natural (erizos grandes: $1,8 \pm 0,1$, erizos pequeños: $0,6 \pm 0,1$) tuvieron un IG significativamente más alto que los erizos de mar pequeños y grandes en condición de oscuridad ($F_{(1,20)} = 9,9543$, $P = 0,005$, Tabla 3)(Fig. 11)

Tabla 3. Resumen de prueba de análisis de varianza de dos vías para la variable: Índice Gonadal (IG%) en juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* del experimento 1.

Factores	SS	g.l.	MS	F	P
Condición iluminación	1,65375	1	1,65375	36,2797	0,0000
Tamaño	4,95042	1	4,95042	108,6015	0,0000
Condición x Tamaño	0,45375	1	0,45375	9,9543	0,0050
Error	0,91167	20	0,04558		

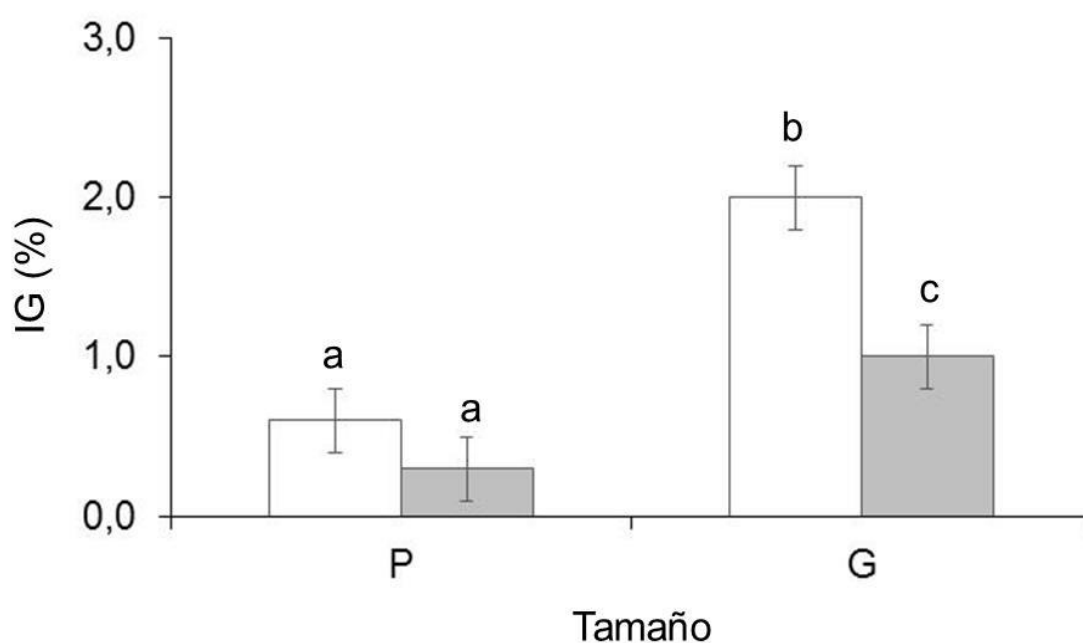


Figura 11. Interacciones en la prueba ANOVA de dos vías de los tratamientos de iluminación y tamaño de los erizos juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* para la variable índice gonadal (%) del experimento 1. Letras P y G significan individuos pequeños y grandes, respectivamente. Barras blanca y gris corresponden a los tratamientos de fotoperiodo natural y oscuridad, respectivamente.

5.1.4 *Fouling* en canastas

El crecimiento y acumulación de *fouling* se determinó pesando cada canasta en un intervalo de tiempo (2 días, 4 días y 8 días) (tabla 4), esto con el fin de determinar la carga de materia de los erizos se ven expuesto en un determinado tiempo, con el fin de estimar cuanto alimento exógeno puede producir la canasta por si sola obteniendo un promedio de peso en condiciones de luz, los siguientes valores; a los 2 días un peso equivalente de $(4,05 \pm 0,9 \text{ g})$, 4 días un peso equivalente de $(4,7 \pm 0,8 \text{ g})$, y a los 8 días un peso equivalente de $(40,7 \pm 2,5 \text{ g})$, (Fig. 12). Promedio de peso para condiciones de oscuridad, a los 2 días un peso equivalente de $(2,2 \pm 0,07 \text{ g})$, 4 días un peso equivalente de $(2,6 \pm 0,07 \text{ g})$, y a los 8 días un peso equivalente de $(9,71 \pm 0,3 \text{ g})$, (Fig. 12).

Tabla 4. Acumulación de *fouling* en las canastas utilizadas en el experimento 1.

L	2	4	8	O	2	4	8
	DIAS/gr	DIAS/gr	DIAS/gr		DIAS/gr	DIAS/gr	DIAS/gr
LR1	3,1	4,1	40	OR1	2	2,6	10
LR2	2	3	30	OR2	2,3	2,6	9
LR3	3,2	4	35	OR3	2,5	3	11
LR4	6,3	6,3	50	OR4	2,1	2,5	10
LR5	2,1	3,1	40	OR5	2,3	2,6	9
LR6	8,1	9,1	45	OR6	2	2,4	9
CONTROL	3,6	3,5	45	CONTROL	2,2	2,6	10

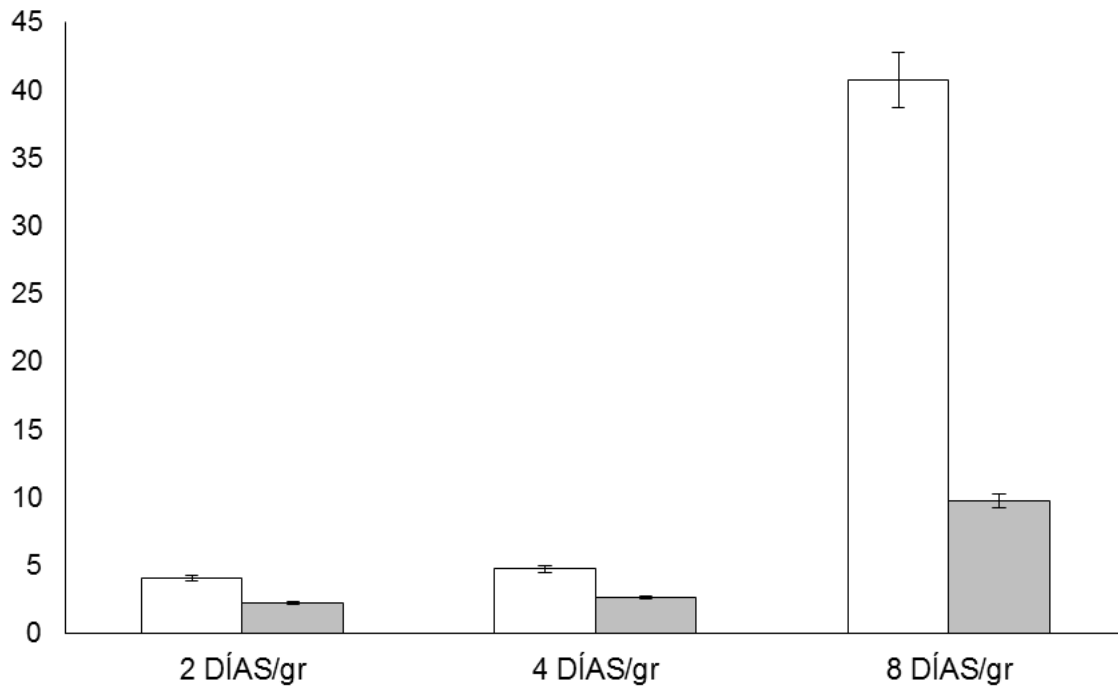


Figura 12. Variable de acumulación de *fouling* (g) en canastas del experimento 1. Barras blanca corresponde a fotoperiodo natural y barras grises corresponden a condiciones de oscuridad, y los días transcurridos (2 días, 4 días y 8 días) respectivamente de condiciones del experimento 1.

5.1.7 Supervivencia

La supervivencia fue del 100% en todos los tratamientos. Los controles fueron animales que no recibieron alimento durante el tiempo que duró el experimento (tres meses). En estos, se registró una mortalidad del 25% (Fig. 13). Los individuos comenzaron a morir a partir del día 90 de transcurrido el experimento.

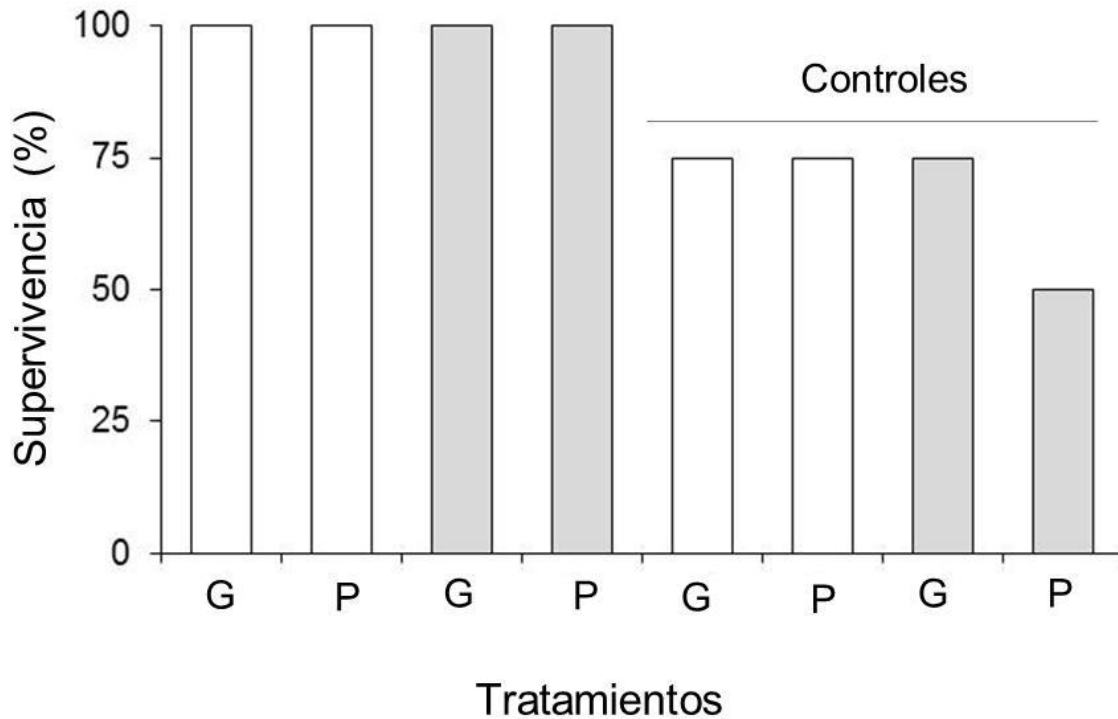


Figura 13. Porcentaje de supervivencia de individuos juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* por tratamiento del experimento 1. Barras blanca y gris corresponden a los tratamientos de fotoperiodo natural y oscuridad, respectivamente. Letras G y P significan individuos grandes y pequeños, respectivamente.

5.2 Experimento 2

5.2.1 Tasa de crecimiento (en diámetro y peso)

Los erizos de mar que consumieron el alga café *P. durvillaei* en promedio crecieron más rápido en diámetro ($2,6 \pm 0,2$ cm, $F_{(3,16)} = 14,244$, $P = 0,00009$; Tabla 5a) y ganaron más rápido peso ($6,6 \pm 0,6$ g, $F_{(3,16)} = 43,429$, $P = 0,0000$; Tabla 5b) que los individuos de los otros tratamientos. Los individuos que menor tasa de crecimiento tuvieron fueron los que consumieron el alga roja *K. alvarezii* (diámetro: $1,7 \pm 0,07$ cm, Fig. 7a; peso: $4,5 \pm 0,1$ g, Fig. 14b). Los individuos pequeños fueron los que tuvieron una tasa de crecimiento mayor (diámetro: $2,4 \pm 0,1$ cm, $F_{(1,16)} = 42,339$, $P = 0,00001$, Tabla 5a; peso: $6,1 \pm 0,4$ g, $F_{(1,16)} = 75,883$, $P = 0,0000$, Tabla 5b) que la de los grandes ($1,8 \pm 0,1$ cm, Fig. 14a; $4,8 \pm 0,3$ g, Fig. 14b). Hubo interacción significativa entre los factores del experimento (dieta y tamaño de los individuos) para la tasa de crecimiento en diámetro y peso, respectivamente (Tabla 5a,b). Los erizos de mar pequeños y grandes del tratamiento *P. durvillaei* tuvieron la mayor tasa de crecimiento en diámetro

(pequeños: $3,0 \pm 0,05$ cm, grandes: $2,1 \pm 0,1$ cm, $F_{(3,16)} = 4,4218$, $P = 0,01908$, Fig. 14a) y peso (pequeños: $7,9 \pm 0,2$ g; grandes: $5,3 \pm 0,1$ g, $F_{(3,16)} = 12,632$, $P = 0,00017$, Fig. 14a). Este patrón de crecimiento no fue observado en los erizos de mar del tratamiento de mezcla de algas (Figs. 14a,b).

Tabla 5. Pruebas de ANOVA de dos vías para las variables: a) tasa de crecimiento en diámetro y b) tasa de crecimiento en peso de juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* del experimento 2.

Factores	SS	g.l.	MS	F	P
a.					
Dieta	2,5542	3	0,8514	14,244	0,0000
Tamaño	2,5307	1	2,5307	42,339	0,0000
Dieta x Tamaño	0,7929	3	0,2643	4,422	0,0191
Error	0,9564	16	0,0598		
b.					
Dieta	17,9554	3	5,9851	43,429	0,0000
Tamaño	10,4577	1	10,4577	75,883	0,0000
Dieta x Tamaño	5,2225	3	1,7408	12,632	0,0002
Error	2,2050	16			

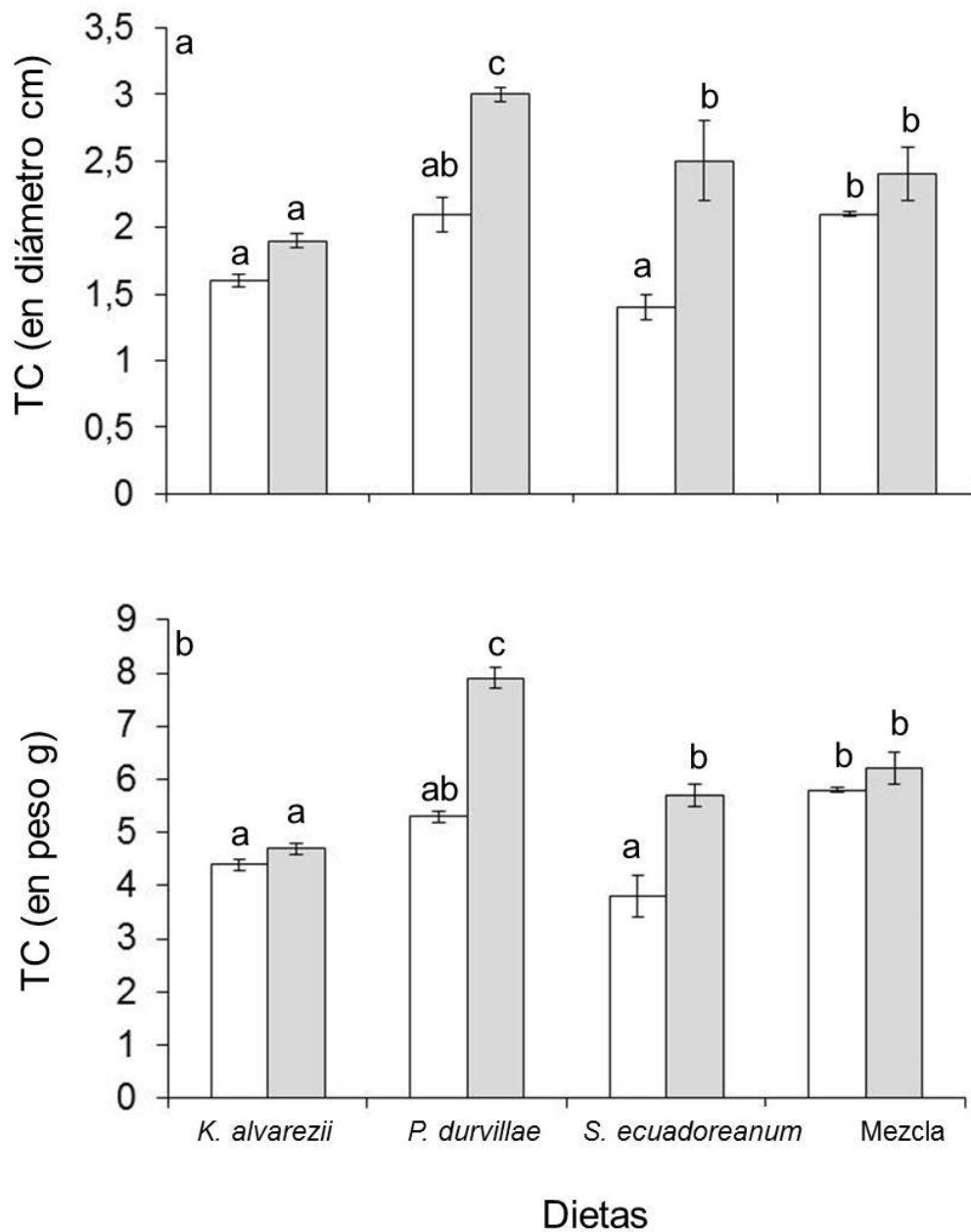


Figura 14. Interacciones en las pruebas de ANOVA de dos vías de los factores de condición de iluminación y tamaño de los individuos juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* en experimento 2, a) tasa de crecimiento en diámetro de la testa (expresado en centímetros) y b) tasa de crecimiento tasa en peso (expresado en gramos). Barras blanca y gris corresponden a erizos de mar tamaño pequeño y tamaño grande, respectivamente. Barras blanca y gris corresponden a erizos de mar tamaño pequeño y tamaño grande, respectivamente.

5.2.2 Factor de Conversión de Alimento (FCA)

Los erizos de mar que fueron alimentados con la mezcla de tres algas (*P. durvillaei*, *K. alvarezii* y *S. ecuadoreanum*) produjeron la mayor cantidad de heces por día ($11,3 \pm 1,5$ g, $F_{(3,16)} = 100,044$, $P = 0,0000$; Tabla 6) que los individuos de los otros tratamientos de dietas. De las dietas individuales, los erizos de mar que fueron alimentados con *P. durvillaei* produjeron la mayor cantidad de heces por día ($9,1 \pm 1,8$ g, Fig. 15) y los alimentados con *K. alvarezii* produjeron la menor cantidad de heces por día ($3,7 \pm 1,2$ g, Fig. 15). De estos, los erizos de mar pequeños fueron los que produjeron la menor cantidad de heces por día ($4,7 \pm 0,8$ g, $F_{(1,16)} = 313,394$, $P = 0,0000$, Tabla 6) que los individuos grandes ($10,6 \pm 1,0$ g, Fig. 15). Hubo interacción significativa entre los factores del experimento (Tabla 6). Los erizos de mar de tamaño grande y pequeño que fueron alimentados con las dietas de mezcla de algas y la dieta simple de *P. durvillaei*, respectivamente, produjeron alta cantidad de heces por día (grande: $14,5 \pm 1,0$ g y $13,2 \pm 0,1$ g; pequeño: $8,2 \pm 0,3$ g y $5,1 \pm 0,3$ g, $F_{(3,16)} = 7,258$, $P = 0,0027$, Fig. 15, Tabla 6).

Tabla 6. Prueba de ANOVA de dos vías para la variable de Factor de Conversión de Alimento en juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* del experimento 2.

Factores	SS	g.l.	MS	F	P
Dietas	198,894	3	66,298	100,044	0,0000
Tamaño	207,682	1	207,682	313,394	0,0000
Dietas x Tamaño	14,430	3	4,810	7,258	0,0027
Error	10,603	16	0,663		

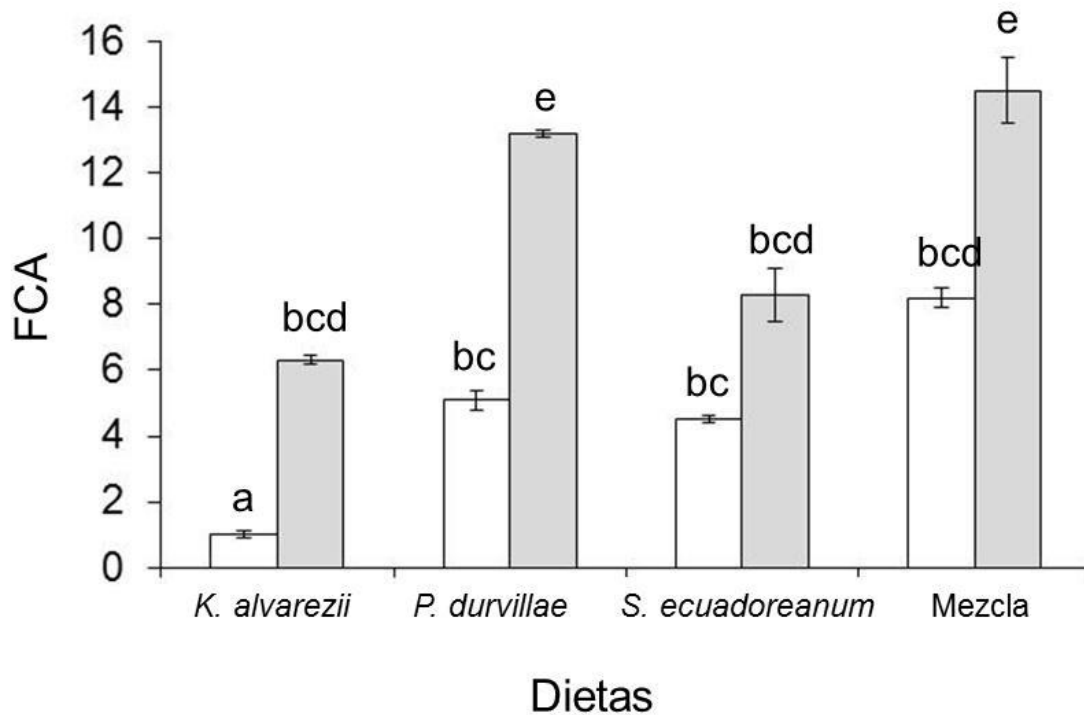


Figura 15. Interacciones en la prueba ANOVA de dos vías de los tratamientos dietas y tamaño de los erizos juveniles del erizo de mar *Tripneustes depressus* para la variable Factor de Conversión Alimenticia (FCA) del experimento 2. Barras blanca y gris corresponden a los individuos pequeños y grandes, respectivamente.

5.2.3 Índice gonadal (IG)

Los erizos de mar pequeños no desarrollaron gónadas durante el tiempo que transcurrió el experimento. Las gónadas se desarrollaron sólo en los individuos grandes de todos los tratamientos. Durante los dos primeros meses del experimento los individuos no formaron gónadas (Fig. 16). Las gónadas se formaron a partir del segundo mes en adelante. Las dietas de las algas individuales de *K. alvarezii* y *P. durvillaei* produjeron los IG significativamente más altos, respectivamente ($0,30 \pm 0,07$ g y $0,26 \pm 0,07$ g, $F_{(3,20)} = 3,40753$, $P = 0,0375$; Tabla 7).

Tabla 7. Resumen de prueba de análisis de varianza de una vía para la variable: Índice Gonadal (IG%) en juveniles de tamaño grande del erizo de mar *Tripneustes depressus* del experimento 2.

Factor	SS	g.l.	MS	F	P
Dieta	0,158833	3	0,052944	3,40753	0,0375
Error	0,310750	20	0,015538		

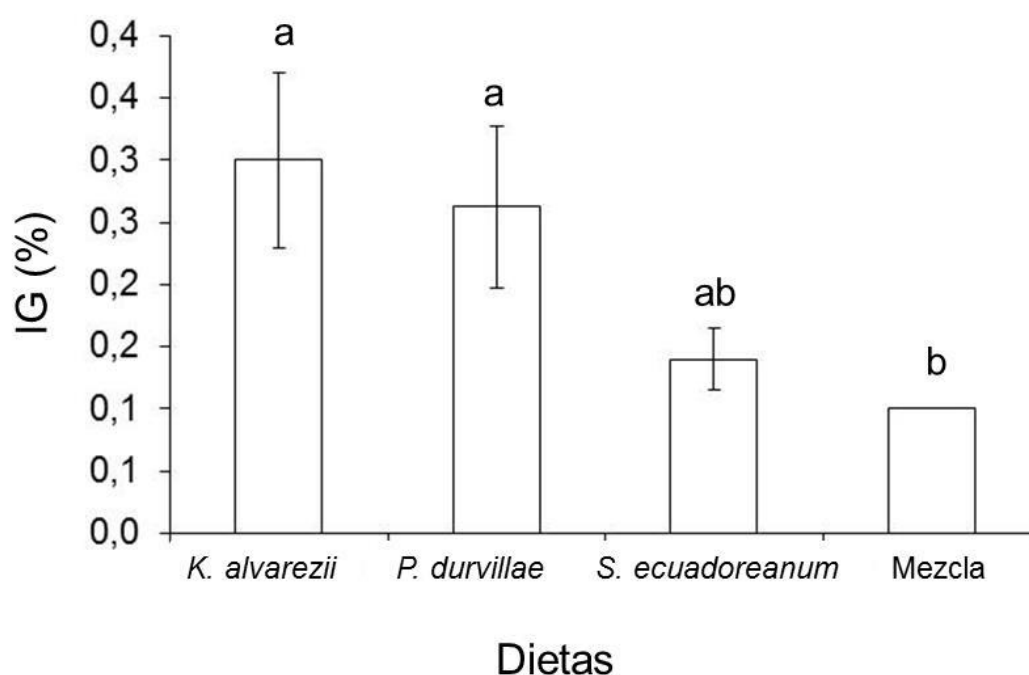


Figura 16. Análisis de prueba de ANOVA de una vía para los tratamientos de dietas de la variable índice gonadal (%) de individuos juveniles grandes del erizo de mar *Tripneustes depressus* del experimento 2.

5.2.4 Supervivencia

La supervivencia fue del 70 y 100%. Los controles fueron animales que no recibieron alimento durante el tiempo que duró el experimento (tres meses). En estos, se registró una mortalidad del 100%. Los individuos comenzaron a morir a partir del día 80 de transcurrido el experimento. (Fig. 17)

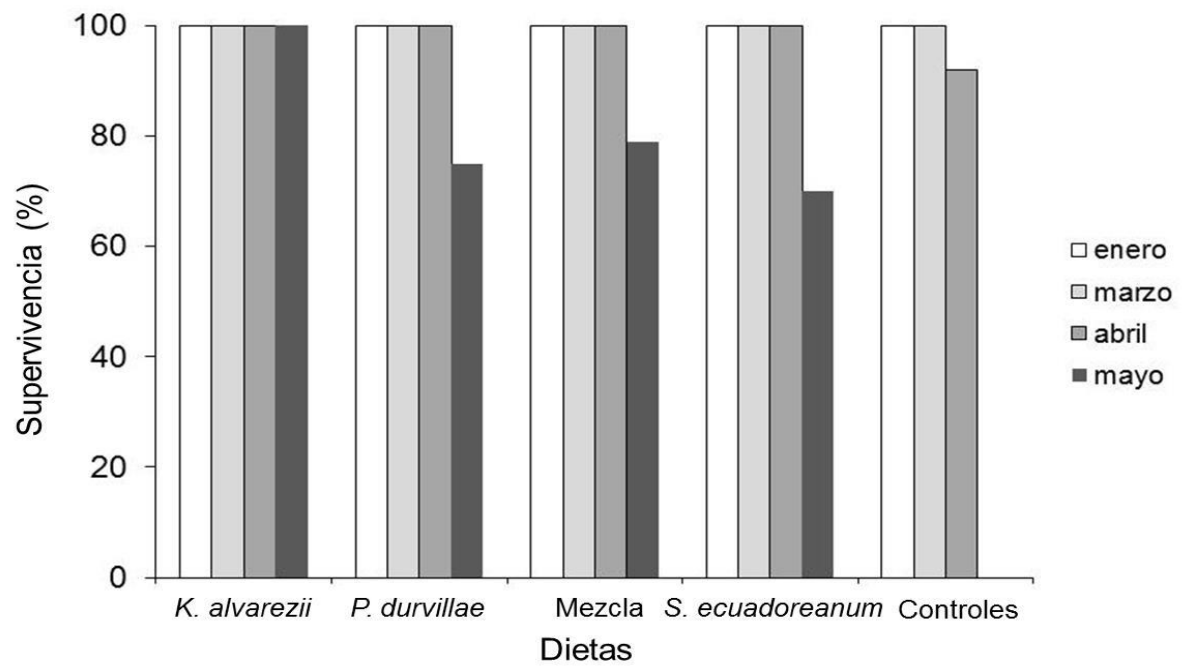


Figura 17. La supervivencia fue del 70 y 100%. De individuos juveniles de erizo de mar *Tripneustes depressus* del experimento 2.

CAPITULO 6

6. DISCUSIÓN

Los equinodermos en general manifiestan fotosensibilidad en una variedad de respuestas que los hacen capaces de sentir cambios en el campo de luz bajo el agua de su entorno permitiéndoles modular su comportamiento y fisiología (Caballero-Solares. 2007). En erizos de mar esto se ve expresado en el cambio de color de sus estructuras externas (por ejemplo, espinas y podios) y a nivel de las respuestas de efectores particulares en la actividad reproductiva. En la vida, tales respuestas pueden integrarse en actividades complejas como la del comportamiento de cubrirse (o taparse) o en la locomoción (Millott, 1975). Investigaciones realizadas por diversos autores con el erizo de mar *Strongylocentrotus purpuratus* muestran que la regulación del desarrollo gametogenico está controlada por una serie de factores ambientales como el fotoperiodo, la intensidad lumínica y la temperatura (Pearse et al. 1986; Bay-Schmith y Pearse, 1987; Kelly, 2005; Mercier y Hamel, 2009).

La ingestión de alimento es un aspecto importante de la nutrición. La cantidad y frecuencia de la ingestión de alimentos por los erizos de mar se ve afectada por las características físicas y químicas del alimento, el estado fisiológico del individuo y las condiciones ambientales abióticas. (Lawrencea, et 2007). Por tal motivo el experimento de dietas algales tuvo como fin determinar el efecto combinado de la dieta algal y el tamaño inicial de los individuos en la tasa de crecimiento, producción de gónadas y supervivencia.

6.1 Crecimiento

De tal modo el experimento de condiciones de iluminación a erizos tuvo como fin Determinar el efecto combinado del fotoperiodo y el tamaño inicial de los individuos en la tasa de crecimiento, producción de gónadas y supervivencia del erizo de mar *Tripneustes depressus*, evaluando este factor (de modo independiente) que no han sido estudiados experimentalmente en esta especie de erizo de mar *T. depressus*.

Obteniendo como resultado que erizos sometidos a periodo de oscuridad completa tuvieron un crecimiento mayor en tamaño y peso como lo muestran los resultados obtenidos en la tabulación de información. Por otro lado, para erizos sometidos en condiciones de iluminación natural obtuvieron un menor crecimiento somático. Con relación a otros estudios a erizos Pearse et. al. (1986) evaluó la respuesta gametogénica

del erizo de mar *Strongylocentrotus purpuratus* donde comparó tratamientos con diferentes regímenes de fotoperíodo de diurnos fijos y de cambio estacional fijando periodos de exposición de luz a día corto fijo de (8L: 16O) y día neutral fijo (12L: 12O), obteniendo como resultado gónadas maduras y en gametogénesis activa. Mientras que en el día largo fijo de (16L: 8O), las gónadas carecían de una cantidad significativa de gametos y tenían la constitución celular encontrada en las gónadas de los animales criados al cambiar el fotoperíodo y muestreados durante la fase de ciclo largo del día.

Fernandez y Pergent (1998) en su estudio sobre el efecto de diferentes dietas formuladas y condiciones sobre el crecimiento parámetros en el erizo de mar *Paracentrotus lividus*, los resultados obtenidos en relación al efecto de la luz sobre el crecimiento. Observaron que la condición de oscuridad total no hizo provocar un aumento en el crecimiento somático en comparación con la condición continua condiciones de luz. Las condiciones de oscuridad en este estudio fueron obtenido colocando una cubierta negra opaca sobre los tanques. Y señala la necesidad de quitar el cubrimiento dos veces por semana durante un período de unos 20 minutos para limpiar los tanques. Donde dichas exposiciones de luz al momento de ejecutar esta operación siempre se realizaba de noche. Usando iluminación artificial directa de baja intensidad. Sin embargo, los autores expresaron que es posible que estas operaciones de limpieza interrumpieran el experimento. En efecto, de la condición de oscuridad afectada por la luz generaron posiblemente un sesgo en los resultados y, por lo tanto, no permitió observar un aumento en el crecimiento por el efecto de la luz sobre el crecimiento en erizos.

Los resultados de crecimiento en cuanto a las dietas la alga café *Padina durvillaei* muestra ser el alga que mejor respuesta dio para el experimento en juveniles del erizo *T. depressus*. Esta por si sola y en raciones controladas generan un excelente crecimiento somático, siendo esta dieta la que más aportó en la ganancia de tamaño y peso, seguido de la dieta de mezcla que dio buenos resultados siendo la segunda mejor dietas en cuanto a tamaño y peso pero con menor desarrollo gonádico que *Kappaphycus*, *Padina* y *Sargassum*. El alga *Sargassum ecuadoreum* presentó un índice de consumo bajo que posteriormente provocó la disminución parcial de crecimiento en comparación con las otras dietas de algas. En el experimento, por pruebas previas de ingesta y preferencia de algas, entre *P. durvillaei* y *S. ecuadoreum*.

El género *P. durvillaei* fue usada como alimento principal para juveniles cultivados en Cenaim como protocolo de alimentación.

6.2 Alimentación y reproducción

El crecimiento gonadal obtenido para este estudio se observó desarrollo gonádico en ambas condiciones de luz y oscuridad. Mediante observación en microscopio y estereoscopio para las identificaciones de sexo y determinar el estado gonádico, en donde cuyas observaciones se encontraron gónadas de un color amarillo claro una característica de una buena calidad de gónada como lo menciona (Vivas, 2018), seguido a esto mostraron un estado gonadal maduro y gametogénesis activa para erizos de ambos tamaños (grandes y pequeños) y de ambas condiciones (luz y oscuridad).

En relación a nuestro estudio, se determinó que erizos en condiciones de luz crecieron menos que erizos en condiciones de oscuridad pero estos obtuvieron un mayor IG en condiciones de fotoperiodo natural 12L:12O con más desarrollo y peso gonadal con estado de madurez y gametogénesis activa como lo mostraron los resultados de acondicionamiento sometidos por Pearse et. al. (1986). No obstante, el tratamiento de oscuridad obtuvo un crecimiento somático mayor que el de los erizos en condiciones de luz, pero a diferencia de erizos en condiciones de luz estos obtuvieron un crecimiento menor de gónadas y con las mismas características ya mencionadas. Estos resultados concuerdan con las investigaciones realizadas por Fernández y Pergent (1998) donde reportan que no hubo buen crecimiento de gónadas en erizos expuestos a condiciones de oscuridad.

La alga *K. alvarezii* es una macroalga de crecimiento rápido utilizada como alimento y considerada como principal fuente de materia prima para la industria del carragenano (Hayashi y Reis, 2012), actualmente la alga está siendo cultivada en el sector de la comuna de Santa Rosa provincia de Santa Elena-Ecuador, esta especie posee valores nutricionales con un alto contenido de cenizas (54,3%), fibra (6,7%), pero baja en proteínas (3,9%) y lípidos (0,2%) (Sierra y Álvarez, 2009), por tal motivo a la cercanía del cultivo, se estableció la posibilidad de probarla como dieta y como esta aportaría en cambios de erizo *T. depressus* en relación a crecimiento de tamaño, peso y un componente importante como lo es la posibilidad que genere gónadas granadés y de buena calidad. Teniendo como resultado para este estudio se observó una alta

aceptabilidad de esta alga con una tasa de consumo alta 100% pero con una producción de heces menor comparado con otras dietas estudiadas, que al final del tiempo transcurrido de experimentación se observó que esta dietas resulto ser la que mejor porto en desarrollo gónadas con los valores de IG más alto que las demás dieta, pese a esto, los erizos obtuvieron un bajo incremento en el tamaño que las demás dietas en tratamientos seguidos de dieta *P. durvillaei*, *S. ecuadoreaum* y por ultimo las mezcla que obtuvo el menor desarrollo en comparación a otras dietas, pero mientras no se realicen más pruebas que ayuden a identificar la eficacia de esta alga (*K. alvarezii*) como alimento para el cultivo de erizos de esta especie no podría reemplazar al alga *P. durvillaei* como dieta. En su valor nutricional esta alga tiene un alto contenido de cenizas (concentraciones relativamente altas de SO_4^{2-} , carbonato de calcio como calcio extracelular precipitado en el forma de aragonita y materia orgánica (34,4%), carbohidratos (principalmente manitol como el principal hidrato de carbono de bajo peso molecular, 44,2%) y fibra dietética total (7,6%), pero baja en proteínas ($5,24 \pm 0,1\%$) y lípidos (ácidos grasos esenciales como omega-3, omega-6 (Goecke et al., 2012).

Por otro lado se observó que en el suministro de la dietas de la mezcla de las tres algas, dicho erizos prefería comer el algas *K. alvarezii* y *P. durvillaei*, dejan parcialmente fuera el consumo de esta con sumo considerablemente menor que las demás algas en un mismo suministro y este comportamiento se puede observar en todas las réplicas y en ambos tamaños de erizos.

Seymour y colaboradores (2013) realizaron un estudio relacionado con la preferencia alimenticia y rendimiento en el erizo de mar tropical *T. gratilla* cuyos resultados indican que esta especie tiene claras preferencias entre las algas con fuertes preferencias por *Sargassum flavicans*; *Cystoseria trinodis*; *Halymenia floresii*; *Laurencia intricata*; *Hypnea pannosa*; *Dictyosphaeria versluysii* y *Caulerpa racemosa* var. *Laetevirens*. Dentro de cada una de las agrupaciones taxonómicas (rojo, marrón y verde). Es importante destacar que las preferencias (preferidas y no preferidas). Este consumo fue relativamente consistente en el tiempo. Los erizos tenían distinta preferencias por una o dos especies de algas rojas y verdes, comparadas a las algas pardas donde había una variación notablemente menor en relación con consumo entre especies donde hubo preferencias significativas en tres de los cuatro marrones. Fueron consistentemente las algas pardas menos preferidas, con consumo relativo.

Prato y colaboradores (2018) evaluaron el crecimiento del erizo de mar púrpura *Paracentrotus lividus* alimentado con dos dietas, una proveniente del mar y la otra de sistemas terrestres comparados con las poblaciones silvestres. En estos experimentos investigaron los efectos de los regímenes de alimentación. Donde los erizos fueron alimentados con una dieta granulada preparada en laboratorio (P) y una mezcla de PU (50% de P-Diet y 50% de frescos *Ulva* sp) y se compararon con erizos salvajes (g). En ambos ensayos las dietas experimentales apoyaron. En comparación con la población silvestre no hubo un crecimiento significativo de gónadas.

McCue (2010) hace referencia al término de inanición como la condición biológica donde ocurre un despojo post absorción de alimento en un animal, de lo contrario dispuesto o capaz de comer, no puede hacerlo como resultado de alguna limitación extrínseca en los recursos alimenticios. La frecuencia y duración de los eventos naturales de inanición pueden variar ampliamente. Por ejemplo, episodios de la inanición puede ser breve y frecuente (por ejemplo, causada por ciclos de mareas), breve e infrecuente (por ejemplo, causado por condiciones climáticas agudas), largo e infrecuente (por ejemplo, causado por ciclos estacionales), o largo y frecuente causado por condiciones climáticas crónicas, cambios ecológicos a largo plazo y perturbación antropogénica severa).

Inanición en términos generales implica una grave reducción de nutrientes y vitaminas he ingesta de energía proporcionada por la falta de alimento. Por tal motivo los erizos en controles tienen mucha importancia en verificar que los tratamientos no afectan el crecimiento de erizos. Observando que esta especie es muy sensible a condiciones de inanición extremas. Los erizos al estar en un periodo de ayuno llegan a un punto en que el ayuno se convierte en inanición.

6.3 Supervivencia

El experimento de fotoperiodo mostro que los erizos en control permanecieron con vida hasta la culminación del mismo. Esta supervivencia se vio envuelta en la presencia de alga verde filamentosas que implicó que al no haber alimento u otro tipo de sustancia o materia orgánica presente alrededor, entre y al alcance de sus bocas, entrenan en un estado de hiperfagia que es una situación caracterizada por un aumento excesivo de la sensación de apetito e ingestas descontroladas de alimento. Esta alga verde filamentosa pese a no ser un alimento propio y conocido por el animal, y al ser la

única opción disponible de alimento, efectúa cambios fisiológicos de adaptación a ese nueva porción y ración de alimento, como resultado así restaurando la alimentación, siendo aprovechada la poca cantidad de vitamina y nutrientes que este la aporta por sí sola, esto da como resultado que la interacción del *fouling*, ha provocado sin duda cambios en el diagnóstico de los tratamientos y supervivencia de erizos en control.

Mientras que para los erizos en condición de oscuridad se observó que la acción de las burbujas de aire al mover el agua produjo la acción de transportar pequeñas pedazos de alga y heces a las demás canastas llegaron a la alcance de los erizos en control sin alimento forma un biopelícula en ellas, obtenían una fuente de alimento que los ayudo a la mantención actividades biológicas, con una fuente de nutrición decadente, lo cual produjo un mantenimiento de estos en el tiempo del experimento.

El consumo de las dietas de algas suministradas fue alta cuando el alimento se suministra después de periodos de inanición en el laboratorio y disminuyendo a una tasa de consumo más baja cuando se alimentan los individuos ad libitum. Ya que estos organismos son capaces de sobrevivir durante largos períodos de tiempo con poco alimento, estos tienen la capacidad de reducir su metabolismo corporal (James y Siikavuopio 2012). Esto se vio reflejado en erizo de controles que permanecieron sin alimentación en toda la fase de experimentación para erizos en controles de experimento de dietas permanecieron vivos por un tiempo aproximado de 80 días. Los erizos de los tres controles en inanición, durante el periodo de experimentación no mostraron crecimiento, ni disminución significativa de DT como se ha señalado por varios autores después de la inanición prolongada (Ebert, 1967, 1968, 1997; Dix, 1972; Regis, 1979; Levitan, 1989, 1991). Se observó el estado del caparón y espinas de estos erizos se volvieron y frágiles al tacto como resultado de la no absorción de alimento con nutrientes necesarios para mantener las condiciones vitales estables. Por otro lado se observó progresivamente comportamientos motores y de movimiento retardados hasta el punto de muerte. El desarrollo de gónadas no se observaron en las disecciones realizadas a erizos. El nivel de materia orgánica significativamente disminuyó en todos los componentes del caparazón.

En investigaciones realizadas con erizos de mar que han sido satisfactoriamente utilizados como controladores del *fouling*, tanto sobre la infraestructura de cultivo, como en las conchas de bivalvos en cultivos suspendidos. Estos trabajos demuestra la utilidad de los erizos de mar como *Echinometra lucunter*, *Lytechinus variegatus* y

Hemicentrotus pulcherrimus para controlar las incrustaciones en el cultivo de bivalvos. Recomendamos el uso del mar erizos para reducir las incrustaciones de la red y de la cáscara durante el cultivo de bivalvos (Lodeiros y García, 2004; Cortez et.al. 2011; Zhanhui et al. (2014). Los que demuestra que especies de erizos de mar pueden alimentarse de estas capas de acumulación de *fouling* y aprovechar esta y así sobrevivir y adaptarse a esta nueva raciones de alimento no propio y conocido.

6.4 Perspectivas

Debido a los buenos resultados obtenidos en los tratamientos con condiciones de fotoperiodo y dietas algales se podría dar la posibilidad de ejecutar cultivos, pero con una mayor densidad de animales por canastas aumentan la densidad inicial de 7 animales por separación, esta podría expandirse a una cantidad estimada de 20 a 30 animales dependiendo de las estimaciones del tamaño que se proceda a ubicar por cada canasta. Mientras que por otro lado las dietas propuestas en un principio se ejecutaron en gavetas plásticas que en general obtuvieron un buen crecimiento somático esto abre la posibilidad de seguir experimentando estas dietas con el uso tradicional de tanque de 5000 lt y poder tener densidad más altas entre un promedio de 500 a 1 000 animales por tanques y a medida que vaya creciendo sepáralos en tallas para evita las competencia de alimento. Estos ensayos permitirán en un futuro próximo aportar en la optimización y generación de protocolos para manejo y aporte juveniles y reproductores en las distintas fases que implica la crianza del erizo de mar *T. depressus*. Y ser una alternativa competitiva en generar diversificación de la matriz productiva acuícola del país, basada en una acuicultura de repoblación del erizo de mar *T. depressus* en la provincia de Santa Elena-Ecuador.

Los resultados de estos estudios prometen un avance para la producción y desarrollo de juveniles del erizo de mar comestible y nativo *T. depressus* en Ecuador. Que proporciona información básica de desarrollo de juveniles, sometidos a periodos de exposición de iluminación y pruebas de dietas algales para la promoción del crecimiento somático en tamaño y peso, y por otro lado el desarrollo de gónadas de buena calidad y alto valor nutricional, aumentando su supervivencia de erizos juveniles cultivados en condiciones de laboratorio. Nuestros resultados ser útil para el cultivo de *T. depressus*.

CAPITULO 7

7. CONCLUSIONES

1. El alga sola *Padina durvillaei* fomentó el mayor crecimiento somático del erizo de mar *T. depressus*. Por su parte, el alga sola *Kappaphycus alvarezii* fomentó el mayor desarrollo de gónadas, seguido del alga café *Padina durvillaei*.
2. La condición de oscuridad permitió que los erizos de mar *T. depressus* crecieron significativamente más (en diámetro y peso) que los erizos en fotoperiodo natural.
3. El fotoperiodo natural permitió el desarrollo gonadal de los erizos de mar *T. depressus*.
4. Las estructuras plásticas *Hexil basket oyster* fueron eficaces para cultivo del erizo de mar en suspensión y su interacción con el *fouling* permitió asegurar una mayor supervivencia (efecto control).
5. Las interacciones de erizos en control con respecto al *fouling* produjeron un supervivencia alta del 75% en condiciones de fotoperiodo. Mientras que para erizos en tratamientos de dietas sobrevivieron hasta el segundo mes de experimentación.

CAPITULO 8

8. RECOMENDACIONES

1. Reducir el tiempo de exposición de erizos fuera del agua al momento de realizar mediciones de tamaño y peso, para evitar el quiebre de espinas, y provocar y genera estrés en los organismo en experimentación.
2. Prevenir y abastecer de flujo de agua y aireación continúa en unidades para evitar bajos de oxígeno y altos en la temperatura.
3. Evitar extender el tiempo de recambio de algas, esto puede alterar la composición del agua en la unidad de cultivo.
4. Planificar adecuadamente el Abastecimiento de alimento en toda la fase de experimentación para evitar alteraciones que puedan afectar los tratamientos en ejecución.
5. Realizar continuamente la limpieza de las unidades de cultivo, si no se realiza esta actividad se forma una biopelícula en ellas, posterior mente puede incidir en la presencia de bacteria que puedan afectar a los erizos y causarles la muerte.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Horani, F.A., Tambutté, É., Allemand, D. 2007. Dark calcification and the daily rhythm of calcification in the scleractinian coral, *Galaxea fascicularis*. *Coral reefs*, 26:531-538.
- Andrew, N.L., Agatsuma, Y., Ballesteros, E., Bazhin, A.G., Creaser, E.P., et al. 2002. Status and management of world sea urchin fisheries. *Oceanography and marine Biology: an Annual Review*, 40:343-425.
- Annie Mercier Jean and Francois Hamel. 2009. Endogenous and Exogenous Control of Gametogenesis and Spawning in Echinoderms: Elsevier Advances in Marine Biology, Volume 55: pag. 74-167
- Arana, P. 2005. Demografía y pesquería del erizo *Loxechinus albus* (Echinodermata: Echinidae) en la región sur-austral de Chile. *Revista de Biología Tropical*, 53: 367-382.
- Ailet Vives Pérez. 2018. Calidad De La Gónada Del Erizo De Mar *tripneustes Depressus* (Agassiz, 1863, Echinodermata: Echinoidea) En La Bahía De La Paz, Bcs, México; Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario De Ciencias Marinas.
- Alexander, R. M. 1971. *Size and Shape*. London: Edward Arnold
- Alexander, R. M. 1982. *Optima for Animals*. London: Edward Arnold
- Bay-Schmith E. and J. S. Pearse. 1987. Effect of fixed daylengths on the photoperiodic regulation of gametogenesis in the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus*. *International Journal of Invertebrate Reproduction and Development*, 11: 287-294.
- Byrne, M. (1990). Annual reproductive cycles of the commercial sea urchin *Paracentrotus lividus* from an exposed intertidal and a sheltered subtidal habitat on the west coast of Ireland. *Marine Biology (Historical Archive)*, 104 (2): 275 - 289.
- Brown, N., Eddy, S., editors 2015. *Echinoder aquaculture*. Wiley-Blackwell. 368pp.
- Ilain, J.-Y., 1972a. Structure des populations de *Paracentrotus lividus* (Lamarck) (Echinodermata, Echinoidea) soumises à la pêche sur les côtes nord de Bretagne. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, 39(2):171-212.

- Belovsky, G. E. 1978. Diet optimization in a generalist herbivore: The moose. *Theor. Pop. Biol.* 14:105-34
- Bertsch, H., Aguilar-Rosas, L.E. 2016. *Marine Invertebrates of Northwest Mexico*. Universidad Autónoma de Baja California. Ciencias Marinas. 423p.
- Bustos, E., Olave, S. 2001. Manual de cultivo del erizo *Loxechinus albus*. Proyecto de diversificación de la acuicultura en la X región. FONDEF-IFOP. 24 pp.
- Buss, L. W. 1980. Competitive intransitivity and size-frequency distributions of interacting populations. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 77:5355- 59
- Bordbar, S., Anwar, F., Saari, N. 2011. High-Value Components and Bioactives from Sea Cucumbers for Functional Foods—A Review. *Marine Drugs* 9:1761-1805.
- Brett, J. R. 1979. Environmental factors and growth. In *Bioenergetics and Growth*. ed. W. S. Hour, D. J. Randall, J. R. Brett, 8:599 677. New York: Academic. 781 pp
- Briscoe, C. S., Sebens, K. P. 1987. Omnivory in the green sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis*; predation on mussels. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* In press.
- Caballero-Solares, A. 2007. Estudio sobre la influencia de la luz y el sustrato en la selección activa de hábitat de *Holothuria sanctori*. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 35413 Las Palmas de Gran Canaria, Islas Canarias, España. *Anales Universitarios de Etología*, 1:7-14
- Catherine Fernandez and Gerard Pergent. 1998. Effect Of Different Formulated Diets And Rearing Conditions On Growth Parameters In The Sea Urchin *Paracentrotus lividus*. *Journal of Shellfish Research*, Vol. 17, No. 5, 1571-1581, 1998.
- Caso, M.E. 1978. Ciencia y técnica de los equinodermos en relación con el hombre. Primera parte: aspecto científico. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*, 5:255-286.
- Caso, M.E. 1972. El aspecto económico de las Holoturias o Pepinos de Mar en la alimentación humana. *El Trépang. Revta. Soc. mex. Hist. Nat.* 33: 35-98.
- Camilo Cortés., Useche, J. Gómez León. Marisol. Santos, Acevedo; Santa Marta, Colombia, 2011. Erizos de mar como control biológico del “fouling” en un cultivo de *Nodipecten nodosus* en el área de santa marta, caribe colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 40 (2) 233-247.

- Calder, W. A. 1984. Size, function and life history. Cambridge: Harvard Univ. Press.
431 pp
- Case, T. J. 1977. A general explanation for insular body size trends. *Ecology* 9:1-18
- Calow, P., Woollhead, A. S. 1977. The relationship between ration, reproductive effort and age-specific mortality in the evolution of life-history strategies, some observations on freshwater triclads. *J. Anim. Ecol.* 46:765-81
- Calder, W. A. 1984. Size. Function and Life History. Cambridge: Harvard Univ. Press. 431 pp
- Calder, W.A. 1984. Size, function, and life history. Harvard University Press. 429 pp.
- Cesar Lodeiros and Natividad Garcia 2004. The use of sea urchins to control *fouling* during suspended culture of bivalves; *Aquaculture* 231 (2004) pag. 293–298, 2004; Elsevier B.V. All rights reserved. doi:10.1016/j.aquaculture.2003.10.022
- Cook, E.J. & Kelly, M.S. 2007. Enhanced production of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in integrated open-water cultivation with Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture*, 273 (4): 573-585.
- Danemann, G.D., Ezcurra, E. 2008. Bahía de los Angeles: recursos naturales y comunidad. Linea base 2007. Instituto Nacional de Ecología. 740p
- Distribución poblacional de *tripneustes depressus*; <http://www.naturalista.mx/taxa/67762-Tripneustes-depressus>.
- Dix, TG, 1972. Biología de *chloroticus Evechinus* (Echinoidea: Echinometridae) de diferentes localidades. 4. La edad, el crecimiento y el tamaño. *NZJ* marzo agua dulce Res. 6, 48-68.
- Ebert, TA, 1967. El crecimiento negativo y la longevidad en el erizo de mar púrpura *Strongylocentrotus purpuratus*.
- Ebert, TA, 1968. Las tasas de crecimiento del erizo de mar *Strongylocentrotus purpuratus* en relación con la disponibilidad de alimentos y abstracción columna vertebral. *Ecología* 49, 1075-1091.
- Ebert, T. A. 1982. Longevity, life history and relative body wall size in sea urchins. *Ecol. Monogr.* 52:353-394
- Ebert, T. A. 1985. Sensitivity of fitness to macroparameter changes: An analysis of survivorship and individual growth in sea urchin life histories. *Oecologia* 65:461-67

- Ebert, TA, 1997. Los aspectos Adaptativos de la plasticidad fenotípica en los equinodermos. *Oceanologica Acta* 19, 347-355.
- Ebert, T.A. 2007. Growth and survival of postsettlement sea urchins. Pp. 95-134. *In*: Lawrence, J.M. (Ed.). *Edible sea urchins: biology and Ecology*. Developments in agriculture and fisheries science 37. Elsevier Science B.V., Oxford.
- Ebert, T., *et al.*, 2018. Size, growth, and density data for shallow-water sea urchins from Mexico to Aleutian islands, Alaska, 1956-2016. *Ecology* (in press).
- Ermelinda Prato; Giovanni Fanelli; Alberto Angioni; Francesca Biandolino; Isabella Parlapianoa, Loredana Papa; Giuseppe Denti; Marco Secci; Mariachiara Chiantore; Maeve S. Kelly; Maria Paola Ferranti; Piero Addis; 2018. Influence of a prepared diet and a macroalga (*Ulva* sp.) on the growth, nutritional and sensory qualities of gonads of the sea urchin *Paracentrotus lividus*: *Aquaculture* 493 (2018) 240–250; <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.05.010>
- Feder, H. 1970. Growth and predation by the ochre sea star *Pisaster ochraceus* (Brandt), in Monterey Bay, California. *Ophelia* 8:161-185.
- Fuji, A. 1967. Ecological studies on the growth and food consumption of Japanese common littoral sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius* (A. Agassiz). *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 15 (2): 83-160.
- Fryer, G., Iles, T. D. 1972. *Cichlids of the Great Lakes of Africa*. Edinburgh, Scotland: Oliver & Boy
- Goecke, F., Escobar, M., Collantes, G., 2012. Chemical composition of *Padina fernandeziana* (*Phaeophyceae, Dictyotales*) from Juan Fernández Archipelago. Chile. *Rev.Latinoam. Biotecnol. Amb. Algal* 3, 95–104.
- González-Peláez, S.S. 2001. Biología poblacional del erizo café *Tripneustes depressus*. A. Agassiz. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Guarderas, A.P. 2000. Dinámica poblacional y ecología trófica del erizo blanco *Tripneustes depressus* (Echinodermata: Echinoidea) en Santa Cruz, Galápagos. Tesis de Licenciatura, Pontificia Univ Católica Del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Hickman, C.P. 1997. Common Intertidal and Shallow-water Echinoderms of Galapagos.
- Highsmith, R. C. 1982. Reproduction by fragmentation in corals. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 7:207-26

- Hughes, T. P., Jackson, J. B. C. 1980. Do corals lie about their age? Some demographic consequences of partial mortality, fission, and fusion. *Science* 209:713-15.
- Hughes, T. P., Jackson, J. B. C., 1985. Population dynamics and life histories of scleractinian corals. *Ecol. Monogr.* 55(2): 141-66
- Hiscock, K. 1985. Water movement. In *Sublittoral Ecology: The Ecology of the Shallow Sublittoral Benthos*, ed. R. Earll, D. G. Erwin, pp. 58-96. Oxford: Clarendon
- Hilbish, T. J. 1985. Demographic and temporal structure of an allele frequency cline in the mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.* 86:163-71,
<https://www.naturalista.mx/taxa/67762-Tripneustes-depressus>.
- Idrovo, F., y Sonnenholzner, J. 1994. Distribución y abundancia de *Tripneustes depressus* Agassiz 1863, y *Diadema mexicanum* Agassiz 1863 (Echinodermata: Echinoidea) en Punta Los Frailes, Parque Nacional Machalilla, Manabí, Ecuador. Licenciatura Tesis, Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- James, P., y Siikavuopio, S. 2012. A Guide to the Sea Urchin Reproductive Cycle and Staging Sea Urchin Gonad Samples. Nofima, (ISBN 978-82-7251-976-5), 20.
- John M Lawrence et al 2007, Feeding, Digestion, and Digestibility. *Edible Sea Urchins: Biology and Ecology*. Chapter 7
- John M. Lawrence and Yukio Agatsuma. 2013. *Sea Urchins: Biology and Ecology* Editor: John Miller Lawrence © 2013 Elsevier B.V. All rights reserved. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-396491-5.00032-0> Volume 38, 2013, Pages 491-507
- John S. Pearse ; Vicki B. Pearse; Karen K. Davis, 1986. Regulación fotoperiódica de la gametogénesis y el crecimiento en el erizo de mar *Strongylocentrotus purpuratus*. Volumen 237, Número 1. Enero de 1986 Páginas 107-118. <https://doi.org/10.1002/jez.1402370115>.
- Kautsky, N. 1982. Growth and size structure in a Baltic *Mytilus edulis* population. *Mar. Biol.* 68:117-33
- Krieger, I. 1966. The energy metabolism of infants with growth failure due to maternal deprivation, maternal nutrition, or factors unknown, 2, Relation between

- nitrogen balance, weight gain, and postprandial excess heat production. *J. Pediatr.* 75:374-79
- Kelly, M.S. 2005. Echinoderms: their culture and bioactive compounds. *Progress in molecular and subcellular biology* 39:139-65.
- Lawrence JM. 1975. On the relationship between marine plants and sea urchins. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 13:213-286.
- Lawrence, J.M., Lane, J.M., 1982. The utilization of nutrients by post-metamorphic echinoderms. In: Jangoux, M., Lawrence, J.M. (Eds.), *Echinoderm Nutrition*. A.A. Balkema, Rotterdam, the Netherlands, pp. 331–371.
- Lawrence, J.M., Agatsuma, Y., 2013. Chapter 32: *Tripneustes*. In: Lawrence, J.M. (Ed.), *Seurchins: Biology and Ecology*. Elsevier B.V., pp. 491–507.
- Leila Hayashi I; Renata P. Reis. 2012. Cultivo de alga roja *Kappaphycus alvarezii* en Brasil y su potencial farmacológico. *Rev, bras. Farmacogn.* vol.22 no.4 Curitiba julio / agosto 2012 Epub 24 de abril de 2012.
- Liliana Sierra y Ricardo Álvarez, 2009. Comparación Bromatológica De Las Algas Nativas (*Gracilariopsis Tenuifrons*, *Sargassum Filipendula*) Y Exóticas (*Kappaphycus Alvarezii*) Del Caribe Colombiano. *Boletín Científico Centro De Museos Museode Historian*; ISSN 0123 - 3068 bol.cient.mus.hist.nat. 13 (2): 17 - 25
- Lowell, R. B. 1985. Selection for increased safety factors of biological structures as environmental unpredictability increases. *Science* 228:1009-11
- Lewis, J. B. The biology of the tropical sea urchin *Tripneustes esculentus* Leske in Barbados, British West Indies. *Can. J. Zool.* 1958 607-621. 607-621 36 (4)
- Levitan, DR, regulación del tamaño de 1989. Densidad-dependiente en *Diadema antillarum*: efectos sobre la fecundidad y la supervivencia. *Ecología* 70, 1414-1424. (Stimpson). *Ciencia* 157, 557-558.
- Levitan, RD, 1991. Los cambios esqueléticos en la prueba y las mandíbulas del erizo de mar *Diadema antillarum* en respuesta a la limitación del alimento. *Marzo Biol.* 11, 431-435.
- Luna, S. 2000. Distribución Poblacional y Ciclo Reproductivo del Erizo de Mar Blanco *Tripneustes depressus* (Echinodermata : Echinoidea) en las Islas Galápagos, Tesis de licenciatura Area de Investigaciones Marinas y Conservación Costera de la estación Científica Charles Darwin. Universidad San Francisco de Quito.

- López-Ortiz y Sánchez, 2009. Efecto del aumento de salinidad en la fertilización de óvulos de erizos *Strongylocentrotus franciscanus* y *Lytechinus anamesus*, Hidrobiológica vol.19 no.2 México may/ago. 2009
- Marshall D. McCue., 2010. Starvation physiology: Reviewing the different strategies animals use to survive a common challenge. ScienceDirect. Comparative Biochemistry and Physiology, Part. A 156 (2010) 1–18.
- Maluf LY., 1988a. Composition and distribution of the Central eastern Pacific echinoderms. Nat Hist Mus LA County Tech Rep 2:1–242
- Maluf LY., 1991b. Echinoderm fauna of the Galápagos Islands. In: James MJ (ed) Galápagos marine invertebrates: taxonomy, biogeography and evolution in Darwin's islands. Plenum Press, New York, pp 345–36
- Moya A., S. Tambutté, A. Betulucci, E. Tambutté, S. Lotto, D. Vullo, C.T. Supuran, D. Allemand, D. Zoccola. 2008. Carbonic Anhydrase in the scleractinian coral *Stylophora pistillata*: characterization, localization, and role in biomineralization. The Journal of Biological Chemistry 283:25475–25484
- McMahon, T., 1973. Size and shape in biology. Science 179:1201-4. Metcalf, M. M. 1906. The influence of the plasticity of organisms upon evolution. Science, N. S. 23:786-87
- Norman Millott., 1975. The Photosensitivity Of Echnolds. Adv. mar. BioE. Vol. 13, 1975, pp. 1-52
- Pearce, C. M., Daggett, T. L., Robinson, S. M. C. 2002a. Effect of binder type and concentration on prepared feed stability and gonad yield and quality of the green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*. Aquaculture, 205, 301–323. Roe y uni Purcell, S.W.; Conand, C., Uthicke, S. Byrne, M. 2016. Ecological roles of exploited sea cucumbers. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review 54:367-386.
- Pearse, J.S. 2006. Ecological role of purple sea urchins. Science 314:940-941.
- Paginaweb:www.turismocientifico.cl/admin/apps/Capitulo%2022%20Equinodermos.pdf
- Peters, R. H. 1983. The Ecological Implications of Body Size. Cambridge: Cambridge Univ. 15tess. 329 pp.
- Paine, R. T. 1976. Size-limited predation: an observational and experimental approach

- with the *Pisaster-Mytilus* interaction. *Ecology* 57:858-73.
- Pearse, J. S., V. B. Pearse & K. K. Davis. 1986. Photoperiodic regulation of gametogenesis and growth in the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus*. *Journal of Experimental Zoology*, 237: 107-118.
- Purcell, S.W.; Conand, C., Uthicke, S. Byrne, M. 2016. Ecological roles of exploited sea cucumbers. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 54:367-386.
- Rey-Méndez, M., Tourón, N., Rodríguez-Castro, B., Rama-Villar, A., Fernández-Silva, I., González, N., Martínez, D., Ojea, J., Catoira, J.L. 2015. Crecimiento y mejora del índice gonadal en el cultivo del erizo de mar *Paracentrotus lividus* (Echinoidea: Echinidae) en Galicia (España). *Revista Biología Tropical* 63: 261-272.
- Qi.Zhanhui., Wang.Jun.,Mao.Yuze., Zhang.Jihong., Jiang.Zengjie. Fang. Jianguang., 2014. Use of the sea urchin *hemicentrotus pulcherrimus* for biological control of fouling in suspended scallop cultivation in Northern China. *Aquaculture* 420–421 (2014) 270–274.
- Ramírez Ortiz, G. 2010. Estructura comunitaria comparativa de los erizos de mar (Echinoidea: Regularia) en arrecifes del Pacífico mexicano. México: Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- 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.
- Sala, E., Boudouresque, C. F. & M. Harmelin-Vivien. 1998. Fishing, Trophic cascades and the structure of algal assemblages: evaluation of an old but untested paradigm. *Oikos* 82: 425-439.
- San, J, ching, F.S, 2015. Chapter2: Use and exploitation of sea urchins. In: Brown, N.P, Eddy, S.D. (Eds), *Echinoderm aquaculture*, J. Wiley & Son, Inc. Published, pp. 25-45.
- Sebens, K. P. 1979. The energetics of asexual reproduction and colony formation in benthic marine invertebrates. *Am. Zool.* 19:683-97.
- Sebens, K. P. 1982. The limits to indeterminate growth: An optimal size model applied to passive suspension feeders. *Ecology* 63:209–222.

- Sebens, K. P. 1987. Coeleuterate energetics. In *Animal Energetics*, ed. T. J. Paudian, J. Vernberg, Ch. 10. New York: Academic. In press.
- Smith-Gill, S. J. 1984. Developmental plasticity: Developmental conversion vs. phenotypic modulation. *Am. Zool.* 23:47-55.
- Stefánsson, G., Kristinsson, H., Ziemer, N., Hannon, C., James, P. (2017). Markets for Sea Urchins: A Review of Global Supply and Markets. Skyrsluagrip Matis ohf. Icelandic Food and Biotech R&D. report Summary. ISSN: 1670-7192. 50 pp.
- Sonnenholzner, J.I., Montaña-Moctezuma, G., Searcy-Bernal, R. (2011). Effect of macrophyte diet and initial size on the survival and somatic growth of sub-adult *Strongylocentrotus purpuratus*: a laboratory experimental approach. *Journal of Applied Phycology* 23:505-513.
- Sonnenholzner-Varas J.I., Noelia Tournon., María Manuela Panchana Orrala., 2018. 2018. Breeding, larval development, and growth of juveniles of the edible sea urchin *Tripneustes depressus*: A new target species for aquaculture in Ecuador; ScienceDirect. *Aquaculture* 496 (2018) 134–145
- Scheibling, R. E. & P. V. Mladenov. 1987. The decline of the sea urchin, *Tripneustes ventricosus*, fishery of Barbados: a survey of fishermen and consumers. *Marine Fisheries Review*, 49: 62-69.
- Scott Seymour a, b, Nicholas A. Paul a, Symon A. Dworjanyn c, Rocky de Nys. (2013). Feeding preference and performance in the tropical sea urchin *Tripneustes gratilla*. *Aquaculture* 400–401 (2013) 6–13.
- Stearns, S. C., Koala, J. C. 1986. The evolution of phenotypic plasticity in life history traits: Predictions of reaction norms for age and size at maturity. *Evolution* 40:893-913
- Thompson, R. J. 1984. The reproductive cycle and physiological ecology of the mussel *Mttilus edulis* in a subarctic, non-estuarine environment. *Mar. Biol.* 79:277-88
- Thompson, R. J. 1982. The relationship between food ration and reproductive effort in the green sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis*. *Oecologia* 56:5(~57
- Townsend, C. R., Calow, P. 1981. *Physiological ecology: An evolutionary approach to resource use*. Sunderland, Mass: Sinauer. 393 pp.
- Van Valen, L. 1973. Body size and numbers of plants and animals. *Evolution* 27:27–35.
- Vadas, R. L. 1977. Preferential feeding: An optimization strategy in sea urchins. *Ecol. Monogr.* 47:337-71.

- Vahl, O. 1984. The relationship between specific dynamic action (SDA) and growth in the common starfish, *Asterias rubens* L. *Oecologia* 61:122-2.
- Weatherley, A. H. 1972. *Growth and Ecology of Fish Populations*. London: Academic. 293 pp.
- Wainwright, S. A., Biggs, W. D., Currey, J. D., Gosline, J. M. 1976. *Mechanical Design in Organisms*. London: Edward Arnold. 423 pp.

ANEXOS

Tabla A. Especificaciones del experimento 1.

Especificaciones	Información detallada
Duración del experimento (días)	90
Número de tratamientos	8
Número de replicas	3
Control	3
Total unidades experimentales	15 unidades
Rango de tamaño de erizos (diámetro de testa en mm)	Tamaño grande: 25,0 mm DT. Tamaño pequeño: 15,0 mm DT.
Número total de erizos	210
Número de erizos por unidad experimental	7
Variables a medir	crecimiento (talla, peso); tasa de consumo de alimento; producción de heces; índice gonadal; supervivencia
Diseño experimental	Factorial completo
Prueba estadística	Anova 1-vías

Tabla B. Diseño del experimento 1. Factor 1: Dietas. D1, D2, D3, D4. Factor 2: Tamaño de los erizos. G (grande) y P (pequeño). Control: erizos sin alimento.

Especificaciones	Información detallada
Duración del experimento (días)	90
Número de tratamientos	4
Número de replicas	6
Control	2
Total unidades experimentales	4 (tratamientos); 4 (controles) = $4 * 4 = 16$; $4 * 3 = 12$ $16 + 12 = 28$
Rango de tamaño de erizos (diámetro de testa en mm, DT)	Tamaño grande: 37,0 mm DT. Tamaño pequeño: 25,0 mm DT.
Número total de erizos	196
Número de erizos por unidad experimental	7
VARIABLES A MEDIR	crecimiento (talla, peso); tasa de consumo de alimento; índice gonadal; supervivencia
Diseño experimental	Factorial completo
Prueba estadística	Anova 2-vías

Tabla C. Especificaciones del experimento 2.

Experimentos 1		Factor 1: Dietas				CONTROL
Factor 2: Tamaño		D1	D2	D3	D4	
	G	X	X	X	X	X
	P	X	X	X	X	X

Tabla D. Diseño del experimento 1. Factor 1: Iluminación. Luz, Oscuridad. Factor 2: Tamaño de los erizos. G (grande) y P (pequeño). Control: erizos sin alimento.

Experimento 2		Factor 1: Iluminación		Control
Factor 2: Tamaño		Luz	Oscuridad	
	G	X	X	X
	P	X	X	X

Tabla E. Hoja de formato guía de parámetros biológicos del erizo de mar *Tripneustes depressus* (Agassiz, 1863), para los experimentos.



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
 CENTRO NACIONAL DE ACUICULTURA E INVESTIGACIONES MARINAS
 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 DIVISIÓN CIENTÍFICA
 ÁREA DE DIVERSIFICACIÓN

PROYECTO: "DESARROLLO DE PROTOCOLOS DE DOMESTICACIÓN PARA EL USO SOSTENIBLE DE NUEVAS ESPECIES MARINAS PARA CONSUMO DE ALIMENTOS Y REPOBLACIÓN DE BANCOS NATURALES"

REGISTRO PARÁMETROS BIOLÓGICOS DEL ERIZO DE MAR *Tripneustes depressus*

FECHA DE COLECTA DE ESPECIMENES: _____ FECHA DEL PROCESO: _____

No. animal	DT (cm)	Peso (g)		Órganos					Fluido		Observaciones
		1	2	Gónadas		Mandíbula		Placas genitales	Vol. (ml)	Color 1, 2, 3	
				Peso (g)	Sexo (M, H)	L (cm)	P (g)				
1											
2											
3											
4											
5											
6											

Observaciones:

ABREVIATURAS: DT: Diámetro de testa en centímetros; P: Peso en gramos; P1: Peso húmedo inicial completo del animal (con órganos y fluido celómico); P2: Peso húmedo final del animal (sin órganos y fluido celómico); No. Número; Sexo: M: macho y H: hembra. Vol.: Volumen en mililitros; Color 1 (transparente), 2 (medio rojizo) y 3 (rojo oscuro): intensidad del fluido, desde transparente a muy intenso.