



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Marinas



**“Evaluación de la respuesta productiva del erizo morado
(*Strongylocentrotus purpuratus*) alimentado con dietas formuladas ricas en
proteína para la engorda de gónada”.**



ANTEPROYECTO DE TESIS

Que para obtener el título de

Biotechnólogo en Acuicultura

Presenta:

Miriam Esther García Mendoza

Ensenada Baja California, México

junio 2015





Conocimiento, Desarrollo y Progreso

**“Evaluación de la respuesta productiva del erizo morado
(*Strongylocentrotus purpuratus*) alimentado con dietas formuladas ricas en
proteína para la engorda de gónada”.**



**EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA PRODUCTIVA DEL ERIZO MORADO
(*Strongylocentrotus purpuratus*) ALIMENTADO CON DIETAS FORMULADAS
RICAS EN PROTEÍNA PARA LA ENGORDA DE GÓNADA**

TESIS

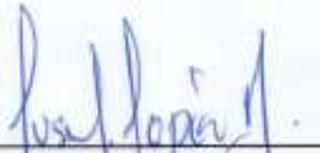
Que para obtener el título de:

Licenciado en Biotecnología en Acuicultura

Presenta:

Miriam Esther García Mendoza

Aprobada por:



Director de tesis

Dra. Lus Mercedes López Acuña



Sinodal

Dr. Mario Alberto Galaviz Espinoza



Sinodal

Dr. Julio Said Palleiro Nayar

Agradecimientos

Agradezco al comité de tesis: Dra. Lus Mercedes López Acuña, Dr. Mario Alberto Galaviz Espinoza y al Dr. Julio Said Palleiro Nayar, por el apoyo brindado para que lograra culminar éste proyecto, por estar al pendiente de los avances en la investigación y escrito, gracias por compartir sus conocimientos y consejos con mi persona.

A Fundación PRODUCE por el otorgamiento de la beca para llevar a cabo el proyecto y por permitirme haberlo desarrollado.

A la Facultad de Ciencias Marinas por permitirme usar el espacio en el laboratorio de Acuicultura para llevar a cabo el bioensayo, a la unidad de Biotecnología en Piscicultura por facilitar el espacio para la elaboración de alimento formulado para los erizos.

A mis compañeros del laboratorio de Nutrición Acuícola; Paola, Idaly, Isaura, Samantha, Francina, Eraclio, Miguel, Tony, Honorio por la amistad brindada, por su paciencia y sobre todo por compartir sus conocimiento conmigo.

A todos los que de alguna manera me apoyaron y estuvieron involucrados en el proyecto, desde ayudarme a limpiar los tanques, hasta quienes me ayudaron a analizar muestras, muchas gracias.

Gracias al M.C. Víctor Macías por facilitar el uso del liofilizador para procesar muestras de gónada, a la Dra. Ivonne Giffard y al Dr. Luis Enriquez por facilitar el uso de equipos de laboratorio para guardar y procesar muestras, también a la Dra. Irma Soria por facilitar el uso de equipo de su laboratorio..

Dedicatoria

Primeramente a Dios por su increíble bendición y obra en mi vida, Él ha sido mi roca y mi fortaleza para seguir de pie ante cualquier adversidad que se ha presentado en mí caminar y hoy me da una victoria más, ya que culmino otra etapa en mi vida profesional.

A mi razón de ser, mi Madre Gudelia Mendoza Jiménez que aunque ya no se encuentre presente físicamente, sigue viviendo en mi corazón y sé que está muy orgullosa de que por fin se cumpla su más querido anhelo, convertirme en una profesionista, sin su apoyo no hubiera llegado a donde ahora estoy, gracias Mamá.

A mi familia por su apoyo incondicional, a todos mis hermanos, cuñadas, sobrinos porque cada uno forma parte de mí, por apoyarme en mis sueños y proyectos.

A mis amigos y compañeros tanto de carrera como de laboratorio, por siempre apoyarme y animarme, gracias por los momentos de risas, tristezas y retos que hemos compartido juntos.

A mi tutor de carrera, Dr. Alfredo Salas Garza porque no solo fue mi tutor, sino que también fue como un Padre, gracias por enseñarme a soñar y no descansar hasta convertir ese sueño en realidad.



Resumen

El erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson, 1857) es un equinodermo de forma semiesférica con un exoesqueleto de carbonato de calcio y cubierto de espículas. Se pesca en forma comercial en Baja California desde 1993, como una actividad alterna a la captura de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus*, iniciada por recomendación del Centro Regional de Investigaciones Pesqueras (CRIP) de Ensenada. Su mercado y precio depende de la calidad de la gónada aceptada por el mercado Japonés. La gónada del medio natural de *S. purpuratus* en la actualidad está catalogada por su bajo peso y baja calidad (Cuesta, 2012). Varios autores ya han estudiado la importancia de la proteína en la elaboración de alimentos capaces de mejorar la calidad de la gónada. Con el propósito de ayudar a resolver la problemática, el objetivo del presente bioensayo fue evaluar la respuesta productiva de la gónada de erizo morado alimentado con dietas formuladas ricas en proteína para mejorar el índice y calidad gonadal, los cuales fueron mantenidos en cautiverio por 12 semanas, empleando 5 tratamientos por triplicado, con una variante de contenido proteico en cada una de las dietas: D1 (11.8%), D2 (18.0%), D3 (24.3%), D4 (28.9%), D5 (35.4%). Como resultado el índice gonadal incrementó conforme se elevaba la inclusión de proteína en las dietas, sin embargo, los tratamientos D4 y D5 presentaron un índice gonadal similar (18%), el tratamiento D4 además de arrojar un índice gonadal elevado, cumplió con las características organolépticas que son esenciales para la exportación de la gónada. A partir del presente estudio se obtuvo que el nivel ideal de proteína para la engorda de gónada del erizo morado es del 28.9%. Esta alternativa de uso del recurso provee ventajas económicas y optimiza la producción para la engorda de la gónada de erizo morado que es muy abundante en el medio natural, además se puede llevar a cabo este proceso mientras se encuentra en veda el erizo rojo, logrando abastecer el mercado oriental.

Palabras clave: erizo morado, proteína, índice gonadal.

ÍNDICE

1	.-INTRODUCCIÓN	1
2	.-ANTECEDENTES	6
3	.-OBJETIVOS	8
3.1	Objetivo General	8
3.2	Objetivos Particulares	8
4	.- METODOLOGÍA	9
4.1	Siembra	9
4.2	Sistema de cultivo	9
4.3	Alimentación y elaboración de dietas	10
4.4	Biometrías de crecimiento y muestreo para toma de valores biológicos.	13
4.5	Evaluación de la calidad gonadal	13
4.6	Análisis proximal	15
4.7	Análisis estadístico	18
5	.- RESULTADOS	19
5.1	Parámetros de Crecimiento	19
5.2	Índice gonadal	22
5.3	Análisis químico proximal dietas	24
5.4	Análisis químico proximal en gónada	26
5.5	Características organolépticas	28
6	.- DISCUSIÓN	36
6.1	Parámetros de crecimiento y supervivencia	36
6.2	Índice gonadal	39
6.3	Análisis químico proximal en dietas	41
6.4	Análisis químico proximal en gónada	43
6.5	Características organolépticas	47
7	.- CONCLUSIÓN	50
8	.- REFERENCIAS	51

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Contenido de ingredientes utilizados en las dietas experimentales para erizo morado (*Strongylocentrotus purpuratus*), g en 100 g de dieta.

Tabla II. Composición proximal de dietas experimentales para erizo morado (*Strongylocentrotus purpuratus*), g en 100 g de dieta.

Tabla III. Criterios para la evaluación de la calidad de las gónadas en *Strongylocentrotus purpuratus* tomada de Pearce *et al.* (2002).

Tabla IV. Valores biológicos del erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* alimentados con alimento formulado durante 12 semanas.

Tabla V. Contenido proximal de dietas elaboradas para erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus*.

Tabla VI. Contenido proximal de la gónada de erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* del bioensayo y organismos silvestres.

Tabla VII. Criterios de evaluación de calidad para tratamiento D1.

Tabla VIII. Criterios de evaluación de calidad para tratamiento D2.

Tabla IX. Criterios de evaluación de calidad para tratamiento D3.

Tabla X. Criterios de evaluación de calidad para tratamiento D4.

Tabla XI. Criterios de evaluación de calidad para tratamiento D5.

LISTA DE FIGURAS

Figura I. Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura (FAO, 2014)

Figura II. Gónada de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* (A) y morado *Strongylocentrotus purpuratus* (B) de Baja California, lista para exportación.

Figura III. Gráfico de crecimiento en peso del erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* en 12 semanas de experimento

Figura IV. Gráfico de crecimiento en talla del erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* en 12 semanas de experimento.

Figura V. Gráfico de supervivencia del erizo morado *strongylocentrotus purpuratus* obtenida durante las 12 semanas de experimento.

Figura VI. Gráfico de índice gonadal obtenida del erizo morado *strongylocentrotus purpuratus* en 12 semanas de experimento y el índice gonadal de erizo silvestre.

Figura VII. Gónada obtenida del tratamiento D4 (28.9% de proteína, fuente animal-vegetal).

Figura VIII. Empresarios evaluadores de la gónada obtenida del bioensayo, relacionados con el comercio de gónada de erizo de la región.



1 .-INTRODUCCIÓN

La producción pesquera mundial ha aumentado de forma constante en las últimas cinco décadas y el suministro de peces comestibles se ha incrementado a una tasa media anual del 3.2 %, superando así la tasa de crecimiento de la población mundial del 1.6 %. Este incremento notable se ha debido a una combinación de crecimiento demográfico, aumento de los ingresos y urbanización, y se ha visto propiciado por la fuerte expansión de la producción pesquera y la mayor eficiencia de los canales de distribución. China ha sido responsable de la mayor parte del aumento de la disponibilidad de pescado, como consecuencia de la expansión espectacular de su producción pesquera, especialmente de la acuicultura (FAO, 2014).

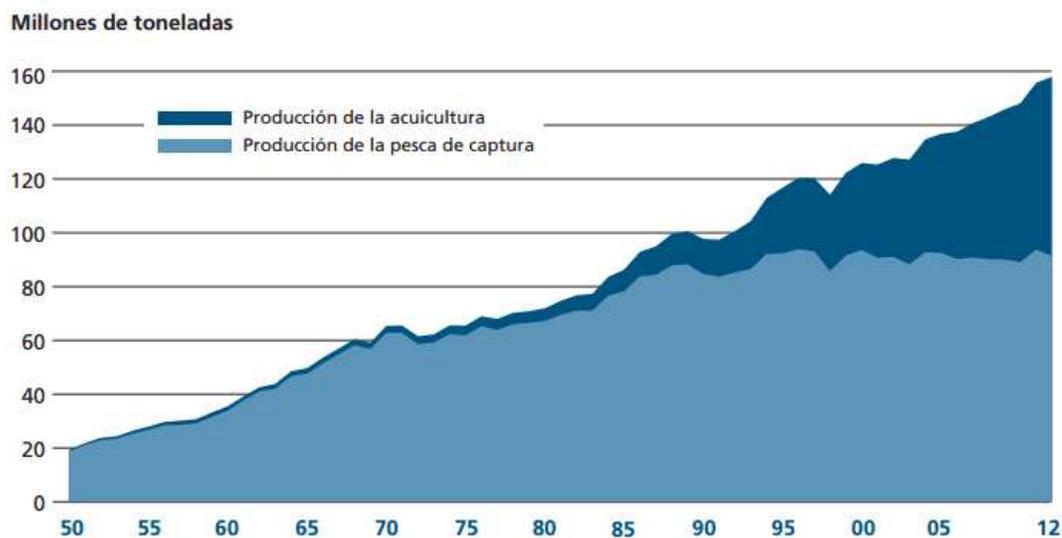


Figura I. Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura (FAO, 2014).

La captura de erizo está sustentada en 20 especies, de las cuales siete pertenecen a la familia *Strongylocentrotidae* y son capturadas en Canadá, Estados Unidos, Rusia, Islandia, Japón y México. Siendo Japón el principal comprador



(Andrew *et al.*, 2002). En el mercado internacional todo es exportado ya sea fresco o congelado, siendo la primera opción la de mayor precio. La presentación comercial de la gónada puede ser empacada en charola o en caja de madera de diferentes tamaños (conteniendo de 70 a 100 g) (Palleiro-Nayar, 2004), Figura I.

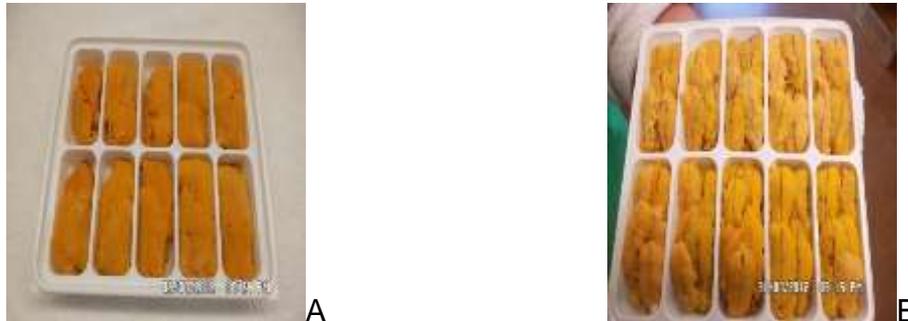


Figura II. Gónada de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* (A) y morado *Strongylocentrotus purpuratus* (B) de Baja California, lista para exportación. Foto: cortesía, productos del mar Catalina, S. de R.L. de C.V.

De las cuatro especies que habitan las costas de Baja California únicamente *S. purpuratus* y *S. franciscanus* se extraen por pesquerías comerciales (Gotshall, 1994). No obstante, el esfuerzo es muy variable el cual depende de la calidad de las gónadas y del precio en el mercado japonés, por lo que la captura ha fluctuado entre 89 y 815 ton de peso vivo (Palleiro-Nayar *et al.*, 2008). En Baja California operan 18 plantas procesadoras de gónada de erizo, con 735 personas empleadas, en 2009 se exportaron 58,990 kg de gónada de erizo a Estados Unidos (SAGARPA, 2012).

El erizo morado *S. purpuratus* se pesca en forma comercial en Baja California desde 1993, como una actividad alterna a la captura de erizo rojo, fue



iniciada por recomendación de investigadores del Centro Regional de Investigaciones Pesqueras (CRIP) de Ensenada (Palleiro-Nayar, 2004). La pesca de *S. purpuratus* se propuso como alternativa comercial para limitar el crecimiento desmesurado de su población, ya que estaba ocupando el nicho ecológico del erizo rojo debido a la alta presión de pesca de la que es objeto. Esta recomendación estipulaba que los permisos se otorgaran a los permisionarios autorizados para pescar erizo rojo (*S. franciscanus*) y que esta actividad se desarrollara en las mismas áreas de operación, determinadas por coordenadas geográficas (Palleiro-Nayar *et al.*, 1996).

Erizo Morado (*Strongylocentrotus purpuratus*)

El erizo morado *S. purpuratus* (Stimpson, 1857) es una especie del Phylum *Equinodermata*; su cuerpo es de forma semiesférica achatado en los polos, cuenta con simetría pentaradial, su exoesqueleto está formado por carbonato de calcio y cubierto por espículas que son usadas para su desplazamiento con ayuda de los pedicelarios y que en ocasiones sirven de defensa contra depredadores (Calva, 2003).

Se distribuye desde Alaska Estados Unidos hasta Isla de Cedros Baja California Sur, México (Duggins, 1983). La distribución de *S. purpuratus* domina en el intermareal y submareal de 0 a 160 m ya que resiste los cambios físico-químicos y la acción del oleaje (Workman, 1999). Se ha observado que las mejores temperaturas de cultivo podrían ser entre 18° y 22°C (Cellario y Fenaux,



1990; Grosjean *et al.*, 1996; Spirlet *et al.*, 1998, 2000, 2001; Shpigel *et al.*, 2004). La talla predominante de *S. purpuratus* es de 50-60 mm de diámetro y pueden llegar a vivir más de 50 años (Ebert, 1968). La captura comercial es de 40 a 70 mm de diámetro (Palleiro-Nayar *et al.*, 2008). En Baja California la talla máxima reportada para *S. purpuratus* es de 75 mm (SAGARPA, 2012). Su crecimiento es muy variable y está ligado a la disponibilidad del alimento, al año de edad puede medir de 10 a 30 mm y a cinco años alcanza una talla de 32 a 51 mm (Parker y Ebert, 2002; Beas-Luna, 2005).

S. purpuratus se alimenta de diferentes especies de algas (*Gigartina armata*, *Laminaria farowii*, *Ulva sp.*, *Eisenia arbórea*, *Pterygophora californica*, *Egrecia leavigata* y principalmente de *Macrosystis pyrifera*), en condiciones de escasas de algas pueden alimentarse de diatomeas bentónicas, radiolarios y otros microorganismos adheridos a las rocas (Mottet, 1976). La alta producción comercial de gónada se localizan donde hay un crecimiento prolifero de algas u organismos incrustantes (Calva, 2003), y en ausencia de estos alimentos la gónada puede no desarrollarse (Mottet, 1976). El color de la gónada depende de la fuente de alimentación: la de mejor calidad es amarilla y se obtiene cuando el erizo consume el sargazo gigante *M. pyrifera*, mientras que cuando pastorea otras algas, como las coralinas, la gónada se produce oscura y es de menor calidad (Mann, 2000).

Las gónadas de erizo tienen importancia comercial ya que estas son muy apreciadas en el Oriente, comparables al caviar. En el año 2001 las gónadas



procesadas eran uno de los productos marinos más costosos, estimadas alrededor de los 100 dólares por kilogramo en los mercados por mayoreo (Calva, 2003).

Una alternativa de interés que se utiliza en algunas especies de erizos, como manera de mejorar el rendimiento de las explotaciones, es capturar individuos del medio natural y mantenerlos en cautiverio con alimentación natural abundante o suplementada con alimentos balanceado, de esa manera se incrementa el tamaño y calidad de las gónadas que resultan muy influenciados por la calidad y cantidad del alimento disponible (Liyana-Pathirana *et al.*, 2002). Por todo lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue probar diferentes alimentos formulados enriquecidos con proteína de origen animal para la engorda de la gónada del erizo morado, *S. purpuratus* en cautiverio.



2 .-ANTECEDENTES

Una dieta formulada comercial ofrece enormes ventajas sobre las dietas naturales, como se ha demostrado con todas las especies que actualmente se cultivan. El hecho de que sea un pellet seco facilita el almacenamiento y suministro del mismo a la vez que garantiza la composición en cuanto al nivel adecuado de los nutrientes, así como también reduce el riesgo de transmisión de enfermedades. Existen estudios donde han elaborado dietas que satisfacen las necesidades energéticas de los erizos de mar, promueven el crecimiento, mejoran la calidad de las gónadas y disminuyen la dependencia por pastos marinos (Pantazis *et al.*, 2000; Kennedy *et al.*, 2000; Pearce *et al.*, 2002a, b; Castell *et al.*, 2004). Estos estudios han evaluado por separado diversas características del alimento (proteínas, lípidos, minerales, etc.) en términos de los efectos generados en crecimiento, producción de gónada y formación de exoesqueleto (González-Durán, 2005).

La importancia de la proteína en la elaboración de alimentos capaces de mejorar la calidad de las gónadas ha sido estudiada (Lawrence y Lane, 1982; Fernández 1997; Kelly *et al.*, 1998; McBride *et al.*, 1998; Kennedy *et al.*, 2002; Pearce *et al.*, 2002; González-Duran, 2005).

En Escocia se observó que a los cultivos de erizo alimentados con el alga *Laminaria saccharina* o con salmón, las gónadas incrementaron su tamaño considerablemente (Calva, 2003). También se estudió el crecimiento gonádico



bajo condiciones de laboratorio en *P. lividus*. Se probaron tres dietas artificiales distintas: una dieta vegetal a base de cereal y maíz, una vegetal-animal a base de harina vegetal y harina de pescado en cantidades iguales y por último una dieta animal a base de harina de pescado, se obtuvo que el contenido de proteínas y lípidos en la gónada fue mayor con las dietas de origen animal o dietas mixtas (animal/vegetal), obteniendo mejores resultados que con los alimentos naturales (Fernández *et al.*, 1995).

Cuesta (2012) evaluó el crecimiento e incremento gonadal de *S. purpuratus* alimentado con *M. pyrifera* y *U. lactuca* enriquecidas con nutrientes. Realizó ensayos de selección de nutrientes con *M. pyrifera* y *U. lactuca* con NaNO_3 , NH_4NO_3 , NH_4Cl , y un fertilizante agrícola líquido (7.8% de nitrato, 7.8% de amonio y 16.4% de urea) en dos concentraciones (1 y 2 M) con el fin de obtener un enriquecimiento en la composición proximal de estas macroalgas. Los dos tipos de macroalgas enriquecidas fueron secadas al sol las cuales fueron suministradas dos veces por semana (5% peso del erizo diario) durante 10 semanas en condiciones controladas de laboratorio. Evaluó el peso del organismo e índice gonadal, así como la coloración, textura, sabor y firmeza de la gónada. El peso e índice gonadal de los erizos fue mayor con *M. pyrifera* enriquecida y sus gónadas presentaron una calidad alta.



3 .-OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Investigar los requerimientos de proteína del erizo morado (*Strongylocentrotus purpuratus*) para la producción de gónada por medio de alimento formulado.

3.2 Objetivos Particulares

1. Evaluar el crecimiento de los organismos, alimentado con las dietas experimentales.
2. Obtener el Índice Gonadal de los erizos alimentados con las diferentes fórmulas.
3. Evaluar el contenido químico proximal de los organismos cultivados, así como de las diferentes dietas formuladas.
4. Evaluar las características organolépticas de las gónadas obtenidas de los organismos alimentados con las diferentes dietas, por medio de catadores.



4 .- METODOLOGÍA

4.1 Siembra

Para llevar a cabo el experimento se trabajó con organismos de 40 a 60 mm de la especie *S. purpuratus*, extraídos con ayuda de los pescadores de este recurso por medio de buceo autónomo en la Bahía Todos Santos (31° 47' latitud norte y los 116° 37' longitud oeste) localizada en Ensenada, Baja California México. Los ejemplares fueron mantenidos en cautiverio bajo condiciones controladas en las instalaciones del Laboratorio de Acuicultura de la Facultad de Ciencias Marinas (FCM) donde se aclimataron por un periodo de 10 días para posteriormente dar inicio al experimento. Se realizaron cinco diferentes dietas formuladas con distintos porcentaje de proteína (Tabla 1), cada tratamiento se estudió por triplicado.

4.2 Sistema de cultivo

Se utilizó un sistema semi-cerrado con 15 unidades experimentales. Cada unidad de cultivo conto con una capacidad aproximada de 80 litros. Para mantener los niveles de oxígeno estables, se contó con una piedra de aireación. La temperatura del agua de mar se mantuvo a 18 ± 1.0 °C por medio de un equipo de enfriamiento conectado al sistema de recirculación.



4.3 Alimentación y elaboración de dietas

Durante el periodo de aclimatación los organismos se alimentaron con la fórmula a base de macroalgas y menor contenido de proteína.

Una vez iniciado el ensayo las raciones fueron a saciedad, dos veces al día. Una primera alimentación se llevaba a cabo a las 9:00 horas y la segunda alimentación a las 17:00 horas. Después de alimentar, se realizaba la limpieza de las unidades, haciendo uso de un sifón para recolectar las heces y el alimento que no fue consumido. El agua perdida por la limpieza, se recuperaba inmediatamente después de haber terminado el mantenimiento de los tanques.

Se llevó a cabo la formulación (Tabla I) y la elaboración de cinco dietas con diferentes porcentajes de proteína proveniente de harina de pescado. La formulación químico proximal de las dietas experimentales se ve reflejada en la Tabla II.



Tabla I. Contenido de ingredientes utilizados en las dietas experimentales para erizo morado (*Strongylocentrotus purpuratus*), g en 100 g de dieta.

Ingredientes	D1	D2	D3	D4	D5
Harina de pescado	0.0	12.1	24.8	37.3	49.9
Harina de Krill	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Trigo entero	28.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Agar*	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Harina de <i>M. pyrifera</i>	51.7	38.6	25.5	12.9	0.0
Celulosa	0.0	0.0	1.6	2.7	4.1
Aceite de pescado	13.3	10.3	9.1	8.1	7.0
Micronutrientes**	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5

*Extracto de agar,

**Mezcla minerales, mezcla vitaminas, cloruro de colina, α -tocoferol, ácido ascórbico, atractantes, colorantes y conservadores de extractos naturales.



Tabla II. Composición proximal de dietas experimentales para erizo morado (*Strongylocentrotus purpuratus*), g en 100 g de dieta seca.

Ingredientes	D1	D2	D3	D4	D5
Proteína	11.6	17.8	23.9	28.5	34.7
Lípidos	6.6	6.4	6.5	6.7	6.7
Cenizas	39.5	34.1	25.5	17.7	9.2
Almidón	29.9	27.6	26.6	24.6	20.8
Energía kcal g ⁻¹	2.1	3.3	3.8	4.2	4.7
Energía kJ g ⁻¹	12.5	13.9	15.9	17.6	19.5
Razón P:E MJ kg	9.4	12.9	15.2	16.4	18.2

El alimento se preparó dentro de las instalaciones de la Unidad de Biotecnología en Piscicultura (UBP) de la Facultad de Ciencias Marinas con ayuda de una mezcladora con capacidad de 5 kg y una peletizadora. Los ingrediente secos se pesaron y homogenizaron, inmediatamente después se agregaron los ingredientes líquidos hasta que se formó una pasta. La pasta se pasó por un extrusor de 5 mm de diámetro. Una vez obtenidos los pellets, estos fueron secados en una estufa de convección a 70°C durante 24 horas. Pasado el tiempo de secado de los pellets, estos se almacenaron a -20°C hasta su uso.



4.4 Biometrías de crecimiento y muestreo para toma de valores biológicos.

Durante los 120 días que duro el bioensayo se realizaron dos biometrías, la primera biometría se llevó a cabo finalizando el periodo de aclimatación y una segunda biometría al final del experimento. Con los datos obtenidos se calcularon parámetros productivos tales como: longitud, peso del organismo y peso de la gónada, utilizando vernier y balanza (precisión 0.01 g).

4.5 Evaluación de la calidad gonadal

La evaluación de la calidad de las gónadas como la textura, firmeza, color y sabor fueron cuantificados subjetivamente (por personas especialistas en el mercado de comercialización de erizo de mar) al finalizar el experimento a la totalidad de los organismos. Los criterios utilizados para la evaluación de la calidad de las gónadas para *S. purpuratus* fueron los propuestos por Pearce *et al.* (2002a) (Tabla III). Las gónadas fueron sumergidas durante 1h en una solución de Alum ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$), previo a la prueba de sabor con el fin de mantener las gónadas firmes, esta solución es comúnmente utilizada en las plantas de procesamiento de erizo (Reynolds y Wilen, 2000).



Tabla III. Criterios para la evaluación de la calidad de las gónadas en *Strongylocentrotus purpuratus* tomada de Pearce *et al.* (2002a).

Criterio	Escala
Firmeza (Grado 1-4)	1= Muy firmes 2= Firmes 3= Suaves 4= Muy suaves
Textura (Grado 1-4)	1= Dos mitades segmentadas diferentes, muy suaves 2= Dos mitades segmentadas diferentes, suaves 3= Distinción de las mitades gonadales posible pero difícil/granular 4= Distinción de las mitades gonadales posible no es posible/granular
Coloración (Grado 1-4)	1= Amarillo o anaranjado brillante (Grado A) 2= Amarillo o anaranjado pálido (Grado A o Grado B) 3= Amarillo-café, anaranjado-café, rojo-café, crema (Grado B o Grado C) 4= Otro color (café oscuro o gris) (Grado C)
Sabor (Grado 1-5)	1=Excelente (muy dulce) 2= muy buena 3= buena 4= Satisfactoria (ni dulce ni amarga) 5= pobre (amarga y de ningún valor comercial)



4.6 Análisis proximal

Se determinó el análisis proximal de cada una de las dietas empleadas, así como de la gónada que fue colectada como resultado del bioensayo.

- Humedad: Las muestras fueron secadas en una estufa a 105°C durante 6 horas. El peso húmedo y el peso seco de la muestra se calculó mediante la siguiente fórmula.

$$\% \text{ Humedad} = 100 - (\text{peso muestra seca} / \text{peso muestra húmeda}) * 100$$

- Proteína: Se determinó utilizando el método micro-Kjeldahl, el cual determina la cantidad de nitrógeno total en la muestra en tres fases: Digestión, destilación y titulación. La digestión se realizó con H₂SO₄ en un digestor (LABCONCO), en este paso el nitrógeno orgánico se transformó en iones nitrogenados. Después la muestra fue destilada (en destilador LABCONCO) liberando los iones de nitrógeno en forma de vapor, el cual fue condensado y captado en una solución de ácido bórico y por último se llevó a cabo una titulación con ácido clorhídrico (HCl = 0.02N), para determinar el porcentaje de nitrógeno de la muestra. Al final el contenido proteico se determinó con la siguiente fórmula.

$$\%N = \frac{HCl * N * 0.014 * 100}{(g)muestra}$$

$$\% \text{ Proteína} = \% N * 6.25$$



Dónde:

HCl= cantidad de ácido clorhídrico (0.02 N) utilizado durante la titulación (ml)

N= Normalidad de HCl

%N= Porcentaje de nitrógeno de la muestra

%P= Porcentaje de proteína

6.25= Factor de conversión de nitrógeno a proteína

- Lípidos: Se determinó según el método de Folch *et al.* (1995), consistió en extraer los lípidos totales de una muestra, agregando metanol y cloroformo. Después de que se extraen los lípidos, la mezcla se filtró para separar los solventes. Al final se evaporó el cloroformo que contiene los lípidos en una plancha de evaporación (Cole-Parmer) a 70°C y posteriormente se obtuvo el peso del extracto de lípidos.

$$\% \text{ Lípidos} = (\text{peso extracto lípidos/peso de muestra}) * 100$$

- Cenizas: Se evaluó mediante la calcinación de muestra en una mufla (VULCAN 3-550 NEY) a 550°C por 8 horas. El porcentaje de ceniza se calculó mediante la siguiente forma.

$$\% \text{ Cenizas} = (\text{peso residuo/ peso muestra}) * 100$$

- Almidón: se determinó siguiendo la metodología descrita por Thivend (1972), en donde la muestra (0.05 g y 25 ml de agua destilada) fue esterilizada en autoclave por un tiempo de 1 hora. Seguido de ello se realizó una digestión con ayuda de la



enzima Amiloglucosidasa de *Aspergillus niger* (2 ml de solución: 0.047 g de enzima por 25 ml de agua destilada) durante dos horas. Las muestras fueron filtradas a través de papel Watman #4 y se aforaron las muestras a 100 ml. El contenido de almidón se cuantifico utilizando el kit Pointe Scientific, Inc. (10 µl de muestra). Para ello, se tomó 1 ml de solución "Liquid Glucose Oxidasa" en un tubo eppendorf de 2 ml de capacidad y se calentó en baño María (Thermo Scientific 180 series) durante diez minutos a 37°C. Posteriormente, se agregaron 10 µl de la solución a evaluar y se incubaron en una estufa durante 10 minutos a 37°C. Finalmente, las muestras se evaluaron mediante la absorbancia de las mismas en un espectrofotómetro (HACH DR 500) a una longitud de onda de 520 nm. El contenido de almidón se determinó mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ Almidón} = ((\text{glucosa (mg dL}^{-1}) * 0.9 * 0.001) / \text{muestra (g)}) * 100$$

Dónde:

0.9= Factor de conversión de glucosa en almidón

0.001= Transformación de la concentración de glucosa de miligramos a gramos.

- Índice gonadal: se llevó a cabo mediante el método (Shieibiling y Stephenson, 1984).

$$\text{IG} = \text{pg} * 100 / \text{pt}$$

Donde "pg" es el peso fresco de la gónada en gramos y "pt" es el peso fresco del organismo en gramos, para este trabajo le llamamos "Índice gonádico" (IG).



El índice gonádico indica que porcentaje del peso total del organismo, que para este caso está representando las gónadas.

4.7 Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el software SigmaStat 3.5 para Windows. Se realizaron comparaciones entre tratamientos empleando el método de análisis de varianza de una vía (ANOVA). Las diferencias significativas entre los tratamientos se determinaron mediante la prueba Holm-Sidak ($P < 0.05$). Los datos que no cumplieron con la homogeneidad de varianzas, se les aplicó la prueba de Tukey. Los resultados obtenidos fueron reportados como media \pm error estándar. Los valores expresados como porcentaje, se transformaron con la función arcoseno y se evaluó la distribución normal y la homogeneidad de varianzas. Las diferencias entre los datos que no presentaron homogeneidad de varianzas se analizaron a través de la prueba de Dunn's. Los datos que no cumplieron con la distribución de normalidad fueron analizados por la vía no paramétrica de Kruskal- Wallis y se reportaron con el valor de la mediana.



5 .- RESULTADOS

5.1 Parámetros de Crecimiento

Durante el desarrollo del bioensayo todos los tratamientos tuvieron buena aceptación del alimento formulado. Los resultados obtenidos en parámetros de crecimiento se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4. Valores biológicos del erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* alimentado con dietas formuladas durante 12 semanas.

Dieta	D1	D2	D3	D4	D5	P
Peso Inicial*	42.9	42.3	39.5	41.2	41.2	< 0.001
Peso Final	48.8 ±12.6	45.4 ±7.0	42.7±7.6	43.4 ±5.6	45.6 ±8.2	Ns
Longitud Inicial*	49.0	46.0	46.0	45.0	48.0	0.001
Longitud Final	50.4 ±1.1	49.1 ±0.4	47.8 ±0.7	49.1 ±1.0	49.7 ±0.6	Ns
Índice Gonadal*	10.8	13.8	13.9	17.7	18.6	< 0.001
Supervivencia	71.1	73.3	57.8	63.3	57.8	Ns

Resultados presentados con media ± error estándar. P= probabilidad. ns= no significativo.
*Análisis de Kruskal-Wallis (representado con valor de la mediana).

Al finalizar el bioensayo de 12 semanas se obtuvieron los valores referentes al crecimiento en peso, los cuales se pueden observar en la figura III.

La figura IV, muestra la curva de crecimiento de la longitud, tanto inicial como la final de los diferentes tratamientos.

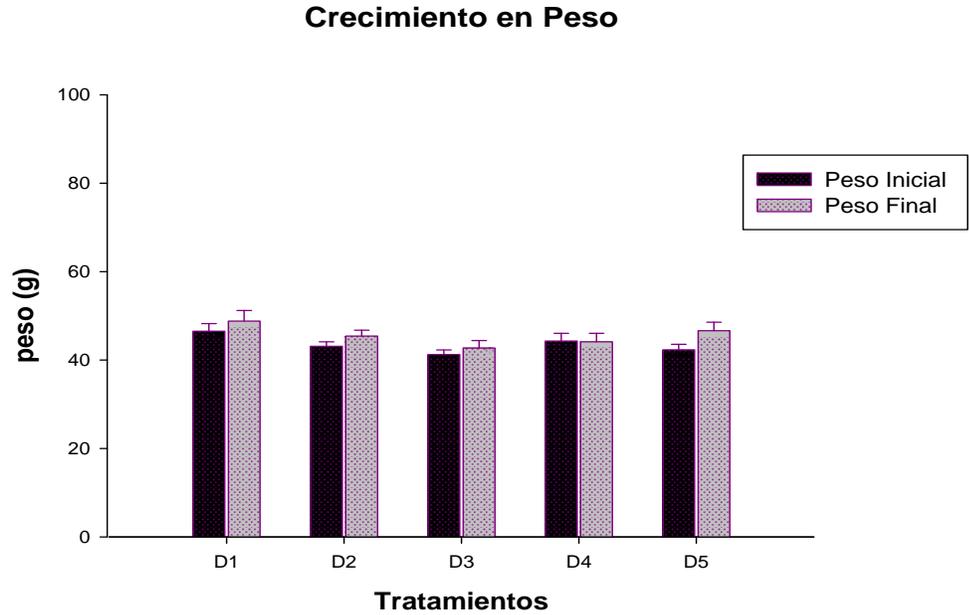


Figura III. Crecimiento en peso del erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* durante 12 semanas de experimento.

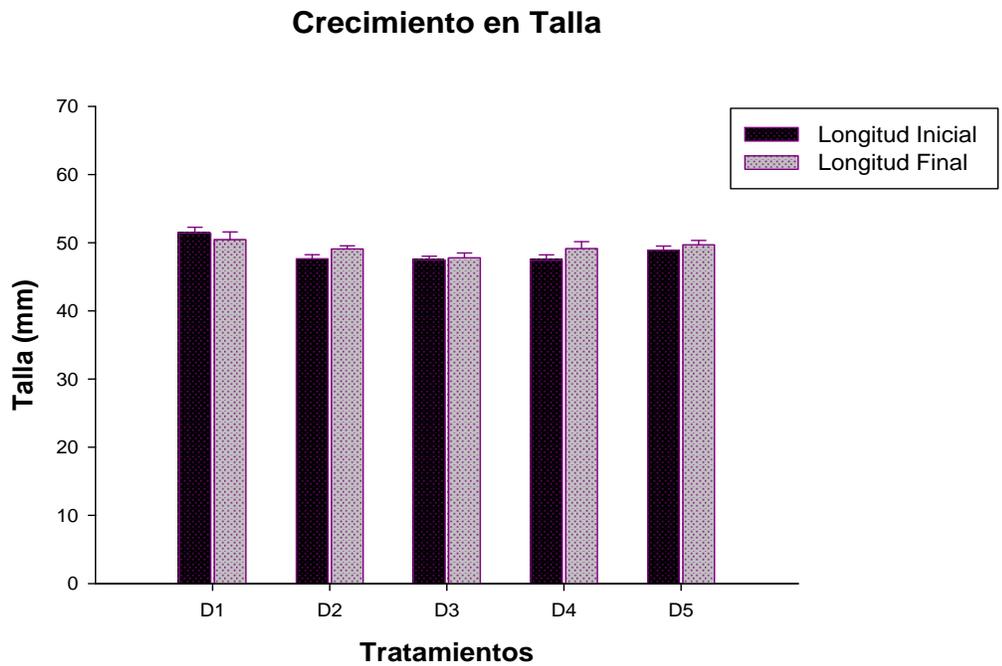


Figura IV. Crecimiento en talla del erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* durante 12 semanas de experimento.



Supervivencia

Después de 12 semanas de bioensayo se obtuvo la supervivencia total de cada tratamiento, los cuales se reflejan gráficamente en la figura IV.

Se observa una disminución de la supervivencia conforme aumenta la inclusión de harina de pescado en las dietas, el tratamiento D1 (71.1%) y D2 (73.3%) se comportaron de forma muy similar, lo mismo paso con los tratamientos D3 (57.8%) y D5 (57.8%) ya que obtuvieron una supervivencia igual, mientras que D4 (63.3%) se encontró en medio de los valores anteriores.

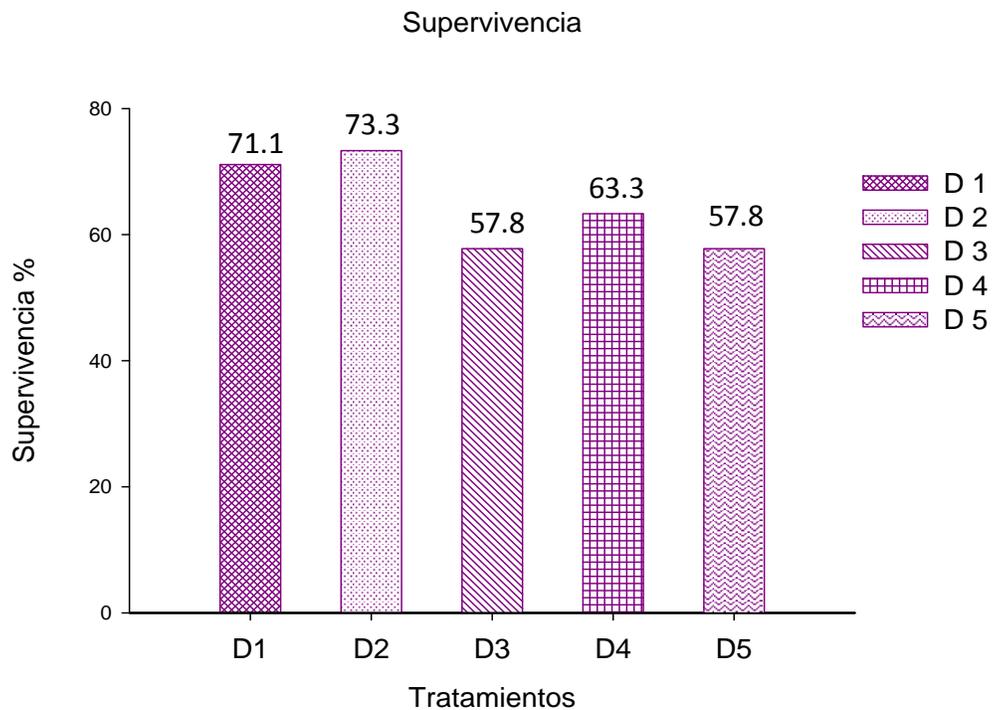


Figura V. Supervivencia del erizo morado *strongylocentrotus purpuratus* obtenida durante las 12 semanas de experimento.



5.2 Índice gonadal

Al término del bioensayo se llevó a cabo la disección de los organismos para obtener la gónada y a partir de ello se obtuvo el índice gonadal de cada tratamiento, el cual se ve ilustrado en la figura VI.

A pesar de la diferencia en concentración de proteína de las diferentes dietas suministradas se observa que en los tratamientos D2, D3 los índices gonadales fueron similares (13.8-13.9%) ($P = 0.602$) entre ellos, en lo que respecta a los tratamientos D4, D5 de igual manera los índices gonadales fueron similares significativamente (17.7 y 18.6%) ($P = 0.990$).

El índice gonadal de organismos del medio silvestre (10.3%) capturados en la misma temporada en que se llevó a cabo el bioensayo, muestra que es bajo y similar estadísticamente al tratamiento D1 ($P = 0.896$) mostrando que no hay diferencias significativas entre dicho tratamiento y organismos del medio natural con respecto al índice gonadal.

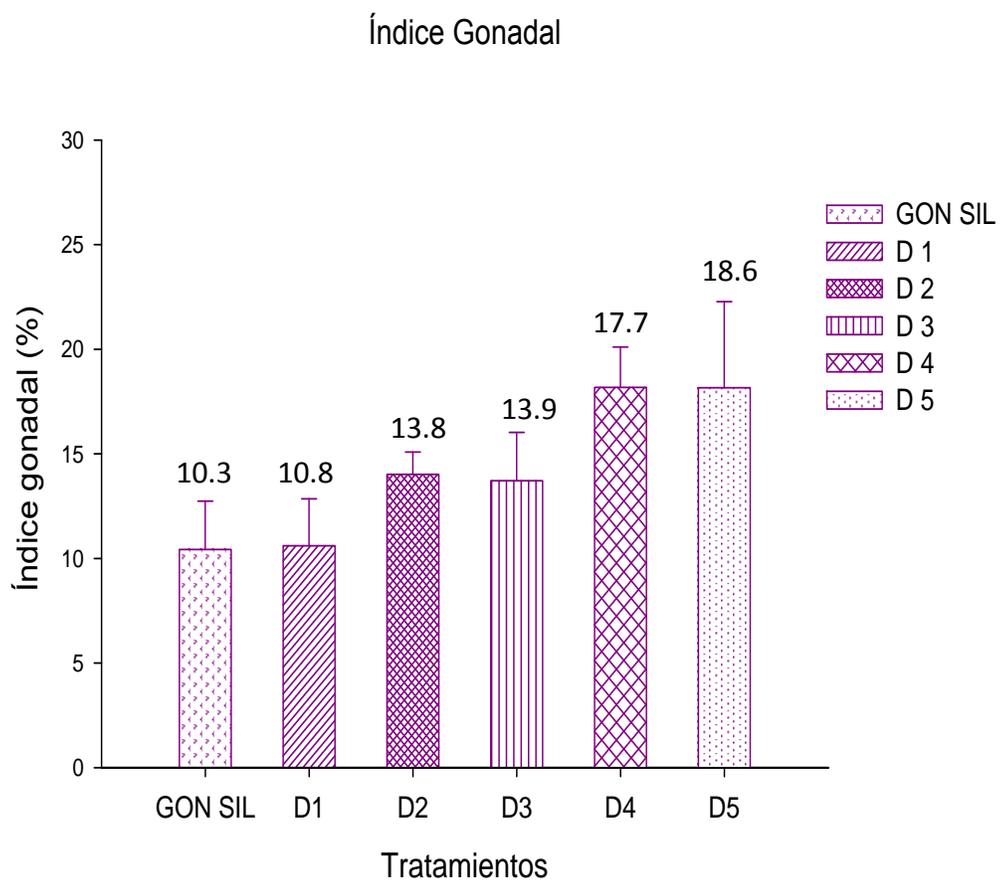


Figura VI. Índice gonadal obtenida de cada tratamiento y gónada silvestre.



5.3 Análisis químico proximal dietas

Tabla V. Contenido proximal de las dietas experimentales para erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus*, cultivado durante 12 semanas.

Tratamiento	Proteínas	Lípidos	Humedad	Cenizas	Almidón	ELN**
D1	11.8	6.7	1.5	40.1	31.0	13.0
D2	18.0	6.5	1.3	34.5	28.3	13.5
D3	24.3	6.6	1.5	25.9	27.4	15.3
D4	28.9	6.8	1.4	17.9	25.2	21.9
D5	35.4	6.8	2.0	9.3	21.5	27.9
<i>P</i>	0.001	0.515	0.001	0.001	0.001	0.001

** Extracto libre de nitrógeno (ELN= 100 - (%proteína + %lípidos + %cenizas + %Almidón)).



Los valores del contenido de proteína en las dietas presentaron diferencias significativas ($P= 0.001$), con un aumento gradual. El contenido de lípidos no presentaron diferencias significativas ($P= 0.515$) entre las dietas. El porcentaje de humedad ($P= 0.001$) y cenizas también presentaron diferencias ($P= 0.001$) siendo la D1 la dieta que más cenizas contenía pero fue disminuyendo su concentración. El porcentaje de almidón también presentó diferencias significativas ($P= 0.001$) y por último el ELN también tuvo un aumento en las dietas ($P= 0.001$).



5.4 Análisis químico proximal en gónada

Tabla VI. Contenido proximal de la gónada de erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* obtenidas del bioensayo y de organismos silvestres.

Tratamiento	Proteínas (%) [*]	Lípidos (%) [*]	Cenizas (%) [*]	ELN (%) ^{**}	Humedad (%)
GON SIL	17.7 ± 0.15	9.5 ± 0.32	1.9 ± 0.09	70.9 ± 0.63	66.1 ± 0.48
GON D1	50.9 ± 1.21 ^{cb}	13.6 ± 0.48 ^a	4.8 ± 0.19	30.7 ± 1.83	65.2 ± 1.07
GON D2	54.1 ± 0.80 ^{ba}	11.5 ± 0.33 ^{cb}	4.7 ± 0.18	29.6 ± 0.68	63.5 ± 0.41
GON D3	55.9 ± 0.70 ^a	12.8 ± 0.48 ^b	4.9 ± 0.23	24.9 ± 0.58	64.3 ± 1.11
GON D4	56.3 ± 1.03 ^a	11.9 ± 0.17 ^b	4.3 ± 0.18	27.4 ± 0.71	61.9 ± 3.20
GON D5	55.6 ± 0.79 ^a	12.4 ± 0.34 ^b	5.9 ± 0.29	26.1 ± 1.11	65.2 ± 0.98
P	0.003	0.006	0.001	0.041	0.481

^{**} Extracto libre de nitrógeno (ELN= 100 - (%proteína + %lípidos + %cenizas + %Almidón). ^{*} Análisis Holm-Sidak.



El contenido de proteína en la gónada de los organismos cultivados presento un incremento gradual y significativo ($P= 0.003$) a medida que se aumentó la proteína en las dietas consumidas, donde la gónada del tratamiento D1 obtuvo el porcentaje de proteína más bajo con un valor de 50.9 ± 1.21 , el valor más elevado lo presentó la gónada del tratamiento D4 56.3 ± 1.03 . Así mismo, el porcentaje de proteína de la gónada de erizos del medio silvestre presento un bajo contenido de este nutriente con valor de $17.7 \pm 0.15\%$.

El contenido de lípidos en las gónadas presentaron diferencias significativas ($P= 0.006$), donde D1 obtuvo el porcentaje más alto con un valor de 13.66 ± 0.48 , y el D2 el porcentaje de lípidos más bajo con valor de 11.5 ± 0.33 . El valor de los lípidos de la gónada silvestre fue aún más bajo (9.5 ± 0.32) que el obtenido en la gónada de los diferentes tratamientos.

El contenido de cenizas totales obtenidas de las gónadas de cada tratamiento presentaron diferencias significativas ($P= 0.001$), el tratamiento D5 fue el que obtuvo un valor más elevado con $5.9 \pm 0.29 \%$, mientras que el D4 el valor más bajo $4.3 \pm 0.18\%$. El valor de la cenizas en la gónada silvestre resulto ser menor con un valor de 1.9 ± 0.09 comparado con los obtenidos en las gónadas de los diferentes tratamientos.

El porcentaje del ELN mostró diferencias significativas ($P= 0.041$) entre la gónada de todos los tratamientos, el valor más bajo se presentó en la D3 con 24.9



$\pm 0.58\%$, el más alto se obtuvo en el tratamiento D1 con un valor de $30.7 \pm 1.83\%$. El ELN de la gónada silvestre mostró un valor alto con $70.9 \pm 0.63\%$.

En cuestión de humedad no mostraron diferencias significativas ($P= 0.481$) entre las gónadas de los diferentes tratamientos, incluso la gónada silvestre presento un contenido similar.

5.5 Características organolépticas

Previo a la evaluación, las gónadas fueron sumergidas durante una hora en una solución de Alum ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, sulfato de aluminio y potasio) con el fin de mantener las gónadas firmes, siendo este un proceso que se lleva a cabo en las plantas de procesamiento de erizo.



Figura VII. Gónada obtenida del tratamiento D4 (28.9% de proteína, fuente animal-vegetal).



Las características organolépticas de cada tratamiento tales como el color, sabor, olor y textura fueron evaluadas por empresarios dedicados al comercio de erizo de la región de Baja California; basándose en los criterios de evaluación de calidad de la gónada en *Strongylocentrotus purpuratus* tomado de Pearce *et al.* (2002) los cuales se observan en las siguientes tablas.



Figura VIII. Empresarios evaluadores de la gónada obtenida del bioensayo, relacionados con el comercio de gónada de erizo en la región.



Tabla VII. Criterios de evaluación de calidad para tratamiento D1.

Criterios para la evaluación de la calidad de la gónada en <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> tomado de Pearce et al. (2002). Trat: D1 fecha: 15-06-13						
Firmeza Grado (1-4)	Clave	1	2	3	4	5
1= Muy firmes 2= Firmes 3= Suaves 4= Muy suaves	D1		X			
Textura Grado (1-4) 1= Dos mitades segmentadas diferentes, muy suaves. 2= Dos mitades segmentadas diferentes, suaves. 3= Distinción de las mitades gonadales posible pero difícil/ granular. 4= Distinción de las mitades gonadales no es posible/granular.	D1		X			
Coloración Grado(1-4) 1= Amarillo anaranjado brillante (grado A) 2= Amarillo anaranjado pálido (Grado A o grado B). 3= Amarillo-café, anaranjado-café, rojo-café, crema (grado B o grado C). 4= Otro color (café oscuro-gris)(Grado C)	D1			X		
Sabor Grado (1-5) 1= Excelente 2= Muy buena 3= Buena 4= Satisfactoria (ni dulce ni amarga) 5= Pobre (amarga y sin ningún valor comercial.	D1		X			

Como resultado del criterio de evaluación en el tratamiento D1 fue una gónada firme, con dos mitades segmentadas de un color anaranjado-café, con un sabor muy bueno.



Tabla VIII. Criterios de evaluación de calidad para tratamiento D2.

Criterios para la evaluación de la calidad de la gónada en <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> tomado de Pearce <i>et al.</i> (2002). Trat: D2 fecha: 15-06-13						
Firmeza Grado (1-4)	Clave	1	2	3	4	5
1= Muy firmes 2= Firmes 3= Suaves 4= Muy suaves	D2	X				
Textura Grado (1-4) 1= Dos mitades segmentadas diferentes, muy suaves. 2= Dos mitades segmentadas diferentes, suaves. 3= Distinción de las mitades gonadales posible pero difícil/ granular. 4= Distinción de las mitades gonadales no es posible/granular.	D2		X			
Coloración Grado(1-4) 1= Amarillo anaranjado brillante (grado A) 2= Amarillo anaranjado pálido (Grado A o grado B). 3= Amarillo-café, anaranjado-café, rojo-café, crema (grado B o grado C). 4= Otro color (café oscuro-gris)(Grado C)	D2		X			
Sabor Grado (1-5) 1= Excelente 2= Muy buena 3= Buena 4= Satisfactoria (ni dulce ni amarga) 5= Pobre (amarga y sin ningún valor comercial).	D2		X			

Los resultados de los criterios de evaluación del tratamiento D2, mostraron gónadas muy firmes con dos mitades segmentadas diferentes, con una coloración amarillo anaranjado pálido y con un sabor muy bueno.



Tabla IX. Criterios de evaluación de calidad para tratamiento D3.

Criterios para la evaluación de la calidad de la gónada en <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> tomado de Pearce et al. (2002). Trat: D3 fecha: 15-06-13						
Firmeza Grado (1-4)	Clave	1	2	3	4	5
1= Muy firmes 2= Firmes 3= Suaves 4= Muy suaves	D3		X			
Textura Grado (1-4) 1= Dos mitades segmentadas diferentes, muy suaves. 2= Dos mitades segmentadas diferentes, suaves. 3= Distinción de las mitades gonadales posible pero difícil/ granular. 4= Distinción de las mitades gonadales no es posible/granular.	D3			X		
Coloración Grado(1-4) 1= Amarillo anaranjado brillante (grado A) 2= Amarillo anaranjado pálido (Grado A o grado B). 3= Amarillo-café, anaranjado-café, rojo-café, crema (grado B o grado C). 4= Otro color (café oscuro-gris)(Grado C)	D3		X			
Sabor Grado (1-5) 1= Excelente 2= Muy buena 3= Buena 4= Satisfactoria (ni dulce ni amarga) 5= Pobre (amarga y sin ningún valor comercial).	D3	X				

Los resultados en el tratamiento D3 fueron gónadas firmes con las mitades gonadales segmentadas granular, la coloración fue amarillo anaranjado pálido, pero con un sabor excelente.



Tabla X. Criterios de evaluación de calidad para tratamiento D4.

Criterios para la evaluación de la calidad de la gónada en <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> tomado de Pearce <i>et al.</i>, (2002). Trat: D4 fecha: 15-06-13						
Firmeza Grado (1-4)	Clave	1	2	3	4	5
1= Muy firmes 2= Firmes 3= Suaves 4= Muy suaves	D4		X			
Textura Grado (1-4) 1= Dos mitades segmentadas diferentes, muy suaves. 2= Dos mitades segmentadas diferentes, suaves. 3= Distinción de las mitades gonadales posible pero difícil/ granular. 4= Distinción de las mitades gonadales no es posible/granular.	D4		X			
Coloración Grado(1-4) 1= Amarillo anaranjado brillante (grado A) 2= Amarillo anaranjado pálido (Grado A o grado B). 3= Amarillo-café, anaranjado-café, rojo-café, crema (grado B o grado C). 4= Otro color (café oscuro-gris)(Grado C)	D4	X				
Sabor Grado (1-5) 1= Excelente 2= Muy buena 3= Buena 4= Satisfactoria (ni dulce ni amarga) 5= Pobre (amarga y sin ningún valor comercial).	D4	X				

Los resultados de los criterios de evaluación para el tratamiento D4 muestran una gónada firme, con dos mitades segmentadas suaves, coloración amarillo anaranjado brillante y con un sabor excelente.



Tabla XI. Criterios de evaluación de calidad para tratamiento D5.

Criterios para la evaluación de la calidad de la gónada en <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> tomado de Pearce et al., (2002). Trat: D5 fecha: 15-06-13						
Firmeza Grado (1-4)	Clave	1	2	3	4	5
1= Muy firmes 2= Firmes 3= Suaves 4= Muy suaves	D5			X		
Textura Grado (1-4) 1= Dos mitades segmentadas diferentes, muy suaves. 2= Dos mitades segmentadas diferentes, suaves. 3= Distinción de las mitades gonadales posible pero difícil/ granular. 4= Distinción de las mitades gonadales no es posible/granular.	D5		X			
Coloración Grado(1-4) 1= Amarillo anaranjado brillante (grado A) 2= Amarillo anaranjado pálido (Grado A o grado B). 3= Amarillo-café, anaranjado-café, rojo-café, crema (grado B o grado C). 4= Otro color (café oscuro-gris)(Grado C)	D5	X				
Sabor Grado (1-5) 1= Excelente 2= Muy buena 3= Buena 4= Satisfactoria (ni dulce ni amarga) 5= Pobre (amarga y sin ningún valor comercial).	D5			X		

El tratamiento D5 obtuvo gónada con muy poca firmeza, dos mitades segmentadas diferentes, coloración amarillo brillante y con un sabor bueno. Siendo una de los tratamientos con alto índice gonadal las características organolépticas no son totalmente satisfactorias, obtuvo criterios altos en la

coloración y sabor de la gónada, pero la firmeza no resulto buena, siendo este una característica muy importante para la presentación del producto.



6 .- DISCUSIÓN

6.1 Parámetros de crecimiento y supervivencia

Talla

Durante las 12 semanas que duró el bioensayo, el tratamiento que obtuvo el crecimiento en talla más elevado fue el D4 con un valor de 1.4 mm, sin embargo no se presentaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, estos resultados son cercanos con el obtenido por Sonnenholzner-Varas (2011) quienes realizaron un experimento donde evaluaron la supervivencia, el crecimiento somático en talla, peso y el índice gonadal de adultos del erizo morado *S. purpuratus* durante 13 semanas, utilizando diferentes tipos de algas como alimento, esto debido quizá a que el organismo dirige la energía a crecimiento gonadal y no a somático, ya que son animales adultos. En cuestión del crecimiento somático en talla, obtuvo una tasa de crecimiento de 0.97 mm mes^{-1} en sistemas de cultivo controlado. Cuesta (2012) también evaluó el crecimiento en talla en *S. purpuratus* alimentado con *Macrocystis pyrifera* y *Ulva lactuca* enriquecidas con nutrientes, con el fin de obtener un enriquecimiento en la composición proximal de éstas algas, las cuales fueron suministradas como alimento, durante un periodo de 10 semanas en condiciones controladas de laboratorio, y al final de su bioensayo reportó un crecimiento máximo de 3.4 mm para el tratamiento con *M. pyrifera* enriquecida. Comparado con nuestros resultados Cuesta (2012) obtuvo un crecimiento dos veces mayor y quizás el



motivo de este aumento estuvo influenciado por el enriquecimiento del alga y la edad de los organismos, quizá aún en período de crecimiento.

Peso

Cuesta (2012), también evaluó el peso e incremento gonadal de *S. purpuratus* alimentado con *Macrocystis pyrifera* y *Ulva lactuca* enriquecidas con nutrientes, con el fin de obtener un enriquecimiento en la composición proximal de estas algas principalmente en el contenido de proteínas, las cuales fueron suministradas como alimento, durante un periodo 10 semanas en condiciones controladas de laboratorio, al finalizar su bioensayo reporto que no se obtuvieron diferencias para el crecimiento en peso total (g) de los erizos alimentados con las dietas de algas enriquecidas.

El bioensayo se comportó similar a lo reportado por Cuesta (2012), aunque estadísticamente se observaron diferencias significativas entre los organismos alimentados con las diferentes dietas, observando que los pesos ganados fueron bajos, el tratamiento con mayor peso ganado fue D5 con 4.31 g, los demás tratamientos se encontraron por debajo de este valor. Sin embargo, el desarrollo gonadal si se vio aumentado significativamente con el incremento de proteína en la dieta. Con ello, podríamos decir que los erizos dirigieron la energía en producción de gónada.



Fernández y Boudouresque (1998), Cellario y Fenaux (1990) realizaron estudios con *P. lividus* y McShane y Anderson (1997) con *E. chloroticus*, quienes sugieren un efecto positivo de la proteína sobre el crecimiento en juveniles de erizo ya que este se dirige al crecimiento de testa y espículas; mencionan que una vez que los juveniles alcanzan una talla adulta los nutrientes van dirigidos al desarrollo gonadal. Los erizos utilizados en el presente estudio fueron adultos, por lo que la proteína que asimilaron no se dirigió al crecimiento somático, si no a la producción de gónada, es quizás por esa razón que no se logró observar un crecimiento mayor en talla y peso total.

Supervivencia

Hammer *et al.* (2006) llevaron a cabo un estudio por 65 días, para observar el efecto de la proteína en la dieta en el consumo, supervivencia, crecimiento y producción de erizo de mar *Lytechinus variegatus*, utilizaron 3 dietas: 9, 20 y 31% de proteína total, y al final del bioensayo concluyeron que la supervivencia fue 100% en erizos alimentados con las dietas 20% y 31%, sin embargo para la supervivencia del tratamientos 9% proteína después de 35 días presentó un decremento a 57% hasta terminar el bioensayo. Nuestros resultados fueron similar a lo reportado por Hammer *et al.* (2006) ya que el tratamiento D2 fue el más cercano a ese porcentaje, contenía 18.0% de proteína y fue el tratamientos que obtuvo la supervivencia más alta con 73.3%, por otro lado nuestro tratamiento D1 con 11.8% de proteína obtuvo los resultados inversos al tratamiento de 9% de Hammer *et al.* (2006) ya que fue de los que presentó mayor supervivencia. En



general la supervivencia durante el bioensayo fue en decremento y se presentó mayormente en las dietas D3, D4 y D5, sin llegar a rebasar el 50%. Es difícil atribuirle a algún factor la mortalidad del bioensayo, ya que se proporcionó una alimentación adecuada, sin embargo, quizás el problema pudo estar asociado a que algunos organismos estaban débiles a la hora de la siembra, aunado al cambio de nicho, con un cambio drástico de medioambiente, por lo que los más resistentes sobrevivieron y desarrollaron gónada.

6.2 Índice gonadal

El aumento en la producción de gónadas de erizos alimentados con dietas preparadas frente al alimento natural ha sido documentado en varias especies de equinodermos incluyendo a *S. franciscanus* (McBride *et al.*, 1997), *P. miliaris* (Cook *et al.*, 1998), *P. lividus* (Spirlet *et al.*, 2001) y *S. droebachiensis* (Pearce *et al.*, 2004).

Kenner y Lares (1991) mencionan que la alimentación del erizo se ve reflejada en el índice gonadal en organismos adultos, en el caso del presente bioensayo se logra observar que aunque aumente la cantidad de proteína por encima del 28% en las dietas, el índice gonadal no aumenta, ese fue el caso de los organismos alimentados con las dietas D4 y D5 del presente estudio, ambos obtuvieron índices gonadales similares ($P = 0.956$) alrededor de 18%. Fernández y Pergent (1998) realizaron un estudio con *Paracentrotus lividus* donde manejaron 3



dietas, la primera a base de harina de pescado, la segunda a base de algas y por ultimo una dieta mixta (harina de pescado y harina de algas), alimentaron a los erizos durante 6 meses y al finalizar reportaron un crecimiento gonadal sin diferencias entre la dieta a base de harina de pescado (28.9% de proteína total) y la dieta mixta (47.2% de proteína total), obteniendo un índice gonadal del 25% en organismos pequeños entre 20-25 mm. En el presente bioensayo con *S. purpuratus* se presentó un comportamiento similar que con *P. lividus*, pero en este caso la dieta D4 fue mixta y la D5 era de origen animal y por ende el contenido de proteína fue alto, a pesar de esta situación el índice gonadal no presento diferencias significativas entre ambas.

Cuesta (2012) en su bioensayo con *S. purpuratus*, utilizando como alimento el alga *M. pyrifera* enriquecida y sin enriquecer, obtuvo en el primer caso un índice gonadal de 15% y 11.6% en el tratamiento con el alga sin enriquecer. Aunque en nuestro bioensayo no se utilizó alimento fresco se puede comparar el tratamiento del alga sin enriquecer y la dieta D1 (más del 50% de su composición fue harina de *M. pyrifera*), el cual obtuvo un índice gonadal de 10.8% muy cercano al del alga sin enriquecer, aunado el índice gonadal de organismos silvestres fue similar a estos dos, con un valor de 10.3%, el comportamiento tanto para nuestros resultados como el obtenido por Cuesta (2012) se puede atribuir al uso del alga *M. pyrifera* en estado normal sin enriquecer como se encuentra en el medio natural, por lo que los erizos logran producir gónada, pero con un índice bajo, ya que las macroalgas contienen bajos niveles de proteína y lípidos (energía total).



A pesar de que Cuesta (2012) haya obtenido un índice gonadal positivo (15%) con su tratamiento de alga *M. pyrifera* enriquecida, no supera el índice gonadal resultante con los tratamientos D4 y D5, con 17.7% y 18.6% respectivamente, lo cual asumimos se debe al enriquecimiento del alimento formulado, el hecho de tener niveles de proteína y energía más elevados que las algas, le permite al erizo aportar más energía en la producción de gónada.

6.3 Análisis químico proximal en dietas

Existen estudios que han evaluado por separado diversas características del alimento (proteínas, lípidos, minerales) en términos de los efectos generados en crecimiento, producción de gónada y formación de exoesqueleto (González-Durán, 2005). En el caso del presente bioensayo, el nutriente evaluado fue la proteína, la cual ha sido estudiada con anterioridad (Lawrence y Lane, 1982; Fernández 1997; Kelly *et al.*, 1998; McBride *et al.*, 1998, Kennedy *et al.*, 2002; Pearce *et al.*, 2002; González-Duran, 2005) como un nutriente capaz de mejorar la calidad y cantidad de gónada en erizos.

Fernández *et al.* (1995) estudio en *Paracentrotus lividus* el crecimiento gonádico bajo condiciones de laboratorio, probando tres dietas formuladas, una dieta vegetal a base de cereal y maíz, una vegetal-animal a base de harina vegetal y harina de pescado en cantidades iguales y por ultimo una dieta a base de harina de pescado, sus resultados muestran que el contenido de proteínas y lípidos fue



mayor en las dietas de origen animal o dietas mixtas mostrando mejores resultados que los alimentos naturales. Confirmado lo obtenido por Fernández *et al.* (1995) los resultados de nuestro bioensayo mostraron los índices gonadales más elevados en dietas mixtas y dietas de origen animal, que contenían mayor inclusión de harina de pescado y harina de origen vegetal aunque en menor proporción. Los tratamientos D3, D4, D5 arrojaron índices gonadales por arriba del 15%.

Los resultados obtenidos con dietas formuladas para la alimentación de erizos de mar en cautiverio se puede reafirmar con lo encontrado por Azad *et al.* (2011) evaluaron los efectos de la dieta y la temperatura sobre la ingestión, absorción, asimilación, rendimiento y calidad de la gónada de erizo de mar *S. purpuratus*. Emplearon 4 dietas, 3 con especies de algas (*Macrocystis integrifolia*, *Nereocystis luetkeana*, and *Saccharina latissima*) y una dieta formulada, por un periodo de 12 semanas, con un cultivo a diferentes temperaturas (8°C, 12°C, 16°C), al finalizar su bioensayo reportaron que el índice gonadal fue significativamente mayor (entre 20 a 25%) en los erizos alimentados con la dieta preparada que con los tratamientos a base de algas frescas. El índice gonadal vario con la dieta utilizada, pero la dieta formulada siempre estuvo por encima de las dietas de algas en las diferentes temperaturas manejadas durante el bioensayo.

Lawrence *et al.* (1992) en *P. lividus* encontró que organismos pequeños producción gónadas grandes con dietas preparadas ya fuera con harina de pescado o de soya, observo mayor crecimiento en una dieta a base de harina de



pescado con un 28.9% de proteínas que con un dieta mixta de harina de pescado y algas cuyo contenido de proteínas era superior 47.2%. En el presente bioensayo se observaron datos similares ya que los organismos de los tratamientos D3, D4, D5 con porcentajes altos en proteínas mostraron la característica de producir una mayor cantidad de gónada en organismos pequeños (40-60 mm).

Se logra observar las grandes ventajas que ofrece una dieta formulada sobre las dietas naturales, como se ha demostrado en muchas especies que actualmente se cultivan. El hecho de que sea un pellet seco facilita el almacenamiento y suministro, a la vez que garantiza la composición en cuanto al nivel adecuado de los nutrientes requerido por la especie, promueven el crecimiento, mejoran la calidad de las gónadas y disminuye la dependencia por pastos marinos (Pantazis *et al.*, 2000; Kennedy *et al.*, 2000; Pearce *et al.*, 2002a, b; Castell *et al.*, 2004).

6.4 Análisis químico proximal en gónada

Es sabido que las gónadas de erizo actúan como órgano principal de almacenamiento de nutrientes (Gonor, 1973; Giese, 1966). Los valores arrojados en el análisis químico proximal realizado a la gónada de cada tratamiento en porcentaje de proteína fueron cercanos, pero estadísticamente si presentaron diferencias en lípidos, cenizas, excepto en humedad que no presentaron diferencias. El contenido de proteína en la gónada entre tratamientos resultó ser



muy similar de entre 50-55%, a pesar de las diferencias de las concentraciones de proteína incluida en la fórmula de cada dieta. Nuestros resultados pueden ser comparables con los obtenidos por Cuesta (2012), ya que en su bioensayo utilizó algas frescas enriquecidas y sin enriquecer (*M. pyrifera* y *U. lactuca*) como alimento para *S. purpuratus*, y obtuvo un porcentaje de proteína del 58% en la gónada, donde el valor más elevado se presentó en el tratamientos con *U. lactuca* enriquecida. El porcentaje de proteínas de dicha alga fue de 11.6%, similar al tratamiento D1 del presente bioensayo con valor de 11.8%, ambas dietas a pesar del bajo contenido de proteína, la gónada resultó con más del 50% de dicho nutriente, éste mismo comportamiento se presentó tanto en el tratamiento con *M. pyrifera* como en los tratamientos de alimento formulado. Lasker y Giese (1954) atribuyen el incremento de las proteínas a individuos que se encuentran en actividad gametogénica, talvez ese sea el motivo de la composición uniforme de la proteína en la gónada en ambos bioensayos.

La cantidad de lípidos en la gónada entre los tratamientos fueron diferentes, pero resultaron bajos en comparación con lo reportado por Cuesta (2012), ya que obtuvo 25% de lípidos en erizos alimentados con *M. pyrifera*, el doble del obtenido en el presente bioensayo, a pesar que el contenido de lípidos en el alga fue la mitad del contenido en el alimento formulado. Pearce y Giese, (1966) indican que lo lípidos tienden a ser superiores en las hembras, probablemente por el desarrollo de membranas y el constante almacenamiento de material de reserva.



El porcentaje de cenizas resulto diferente entre los tratamientos, pero en general fueron menores que los reportados por Cuesta (2012) ya que reporto valores de 14.8% en su tratamiento de *U. lactuca* sin enriquecer. Greenfield *et al.* (1958) mencionan que hay estudios que indican que las cenizas tienden a ser mayores en las épocas más intensas de gametogénesis debido a la necesidad de sales inorgánicas para la formación de células y tejidos. De ser así los erizos del presente bioensayo a base de la cantidad obtenida de cenizas en la gónada no estaban en dicha época o quizás puede ser que estuvieran iniciando.

El ELN presento valores elevados, alrededor del 25-30% entre los diferentes tratamientos y aproximadamente el doble del reportado por Cuesta (2012), quien obtuvo un valor de 13.9% en *U. lactuca* sin enriquecer. Arafa *et al.* (2012) ha reportado que el ELN es utilizado para la formación de gametos como fuente de energía, además de alcanzar los valores más bajos cuando las gónadas están en un nivel más alto de crecimiento.

De acuerdo a la cantidad de nutrientes y sus funciones en la gónada, se podría suponer que los organismos del bioensayo realizado estaban en pro de entrar a la etapa de la gametogénesis. De acuerdo con lo mencionado por Arafa *et al.* (2012), se podría determinar que la gónada de erizo silvestre que arrojó un alto contenido de ELN, todavía no presente un crecimiento gametogénico exponencial. Esto se puede suponer a partir de que la mayor temporada de desove del erizo morado ocurre en los meses de enero a marzo (Gonor, 1973; Kenner y Lares, 1991; Palleiro-Nayar *et al.*, 2010), entonces los erizos del medio silvestre (en julio,



fecha de su captura del medio natural) se encontraban en recuperación de la etapa reproductiva, y por ende la cantidad de ELN encontrado en la gónada.

La información que arrojan estos datos muestra la diferencia nutricional que se ve mejorada al suministrarle a los erizos alimento formulado, rico en proteínas y demás nutrientes, comparado al alimento natural cuyo contenido de nutrientes es por lo general menor.



6.5 Características organolépticas

Se sabe que la calidad de la gónada es imprescindible para su venta, es por eso que se debe de llevar a cabo un análisis de calidad gonadal y verificar que se cumpla con los requisitos. Los criterios de evaluación pueden ser diferentes, dependiendo de las variables que sean de interés, en el presente bioensayo se trabajó con los criterios de evaluación propuestos por Pearce *et al.* (2002a) los cuales son los siguientes: color, sabor, textura y firmeza. Estos mismos criterios han sido utilizados en investigaciones realizadas en *S. purpuratus* por Azad *et al.* (2011) y Cuesta (2012).

También se extrajeron algunos erizos del medio natural durante el mismo tiempo del bioensayo para observar las características organolépticas y compararlas con los erizos en experimento.

La firmeza de la gónada en los primeros 4 tratamientos (D1, D2, D3, D4) fueron muy buenos, sin embargo, en el tratamiento D5 la gónada presentó una textura suave lo cual no ayuda a la presentación del producto. Comparando nuestros resultados con los obtenidos por Cuesta (2012) donde utilizo algas enriquecidas (*M. pyrifera* y *U. lactuca*) con nutrientes para la alimentación de los erizos, la firmeza de la gónada resulto mejor en erizos alimentados con *M. pyrifera*. En erizos silvestres se obtuvieron los mismos resultados. Palleiro-Nayar (Comunicación directa) menciona que la firmeza de la gónada del erizo está



relacionada con el alimento que consume, quizás la presencia de la harina de alga *M. pyrifera* en la dieta influyó sobre la firmeza de la gónada y se puede dar tal suposición ya que en la D5 no hubo inclusión de harina de alga y la firmeza no fue buena.

En la textura no hubo diferencias entre los tratamientos ya que todos fueron mitades segmentadas suaves, solo en algunos organismos de los tratamientos D1 y D2 presentaban gónada granulada, los resultados se asemejan a los obtenidos por Cuesta (2012). Azad *et al.* (2011) donde también reportaron que no hubo diferencias entre tratamientos, ambos autores utilizaron como alimento algas frescas y solo Azad *et al.* (2011) emplearon una dieta formulada pero obtuvo el mismo resultado. Referente a la textura de la gónada silvestre fue similar a la obtenida en algunos erizos de los tratamientos D1 y D2 ya que presentaban gránulos.

El color de la gónada fue diferente entre los tratamientos, en los tres primeros (D1, D2, D3) la coloración fue de baja calidad, mostrando color amarillo-café, amarillo anaranjado-pálido, este mismo comportamiento se presentó en la gónada silvestre, en cambio los tratamientos D4 y D5 el color fue de muy buena calidad siendo amarillo anaranjado-brillante. Comparando nuestros resultados con los de Azad *et al.* (2011), en coloración de la gónada no obtuvo diferencias significativas, incluso ni en la dieta formulada. Por otro lado Cuesta (2012) reportó que los mejores resultados en coloración los obtuvo en los tratamientos utilizando *M. pyrifera* ya sea enriquecida o sin enriquecer.



El sabor de la gónada fue muy bueno en todos los tratamientos, incluso en la gónada silvestre, pero aún mejor en las dietas D3, D4 y D5 en los cuales el sabor fue dulce, en dichas dietas contenían mayor inclusión de proteína proveniente más de fuentes animales que vegetales. Azad *et al.*, (2011) reportaron que la gónada obtenida del tratamiento que fue alimentado con la dieta formulada (21.6% proteína) presentó un mejor sabor que las dietas a base de algas frescas, sus resultados son similares al obtenido en el bioensayo y quizás se pueda deber a que la dieta formulada usada por Azad *et al.* (2011) contenía un porcentaje de proteína cercano al utilizado en la dieta D3 (24.3%).

En un estudio realizado por Pearce *et al.* (2002b) encontraron que la coloración de la gónada se ve afectada por la cantidad de proteína incluida en las dietas para *S. droebachiensis*, en donde niveles de 29% de proteína producían gónadas de coloraciones amarillas-café, comparando con los resultados del bioensayo realizado en *S. purpuratus*, el efecto fue inverso en los tratamientos D4 y D5 con niveles alrededor del 30% de proteína, la coloración de las gónadas fueron amarillo-anaranjado brillante, mostrando así que el resultado puede variar dependiendo de la especie de erizo en estudio. Agatsuma *et al.* (2005) menciona que se debe tener en cuenta que los niveles de coloración tal vez estén influenciados por el ciclo reproductivo y puede que sean en una especie en específico.



7 .- CONCLUSIÓN

- El tratamiento D4 (dieta mixta, con mayor porcentaje de proteína animal) fue el que arrojó los mejores resultados, tanto en el incremento del índice gonadal como en cumplir con las características organolépticas que son esenciales para la exportación.
- El mejor color y sabor de gónada se presentó en los tratamientos que contenían un porcentaje de proteína mayor, proveniente de fuentes mixtas (animal y vegetal).
- El nivel ideal de proteína para la engorda de gónada, a partir del presente trabajo es de 28.9%, tomando en cuenta el desempeño de los organismo.
- El uso de alimento formulado ofrece grandes ventajas sobre el alimento natural: como la disponibilidad, perfil nutricional constante, fácil almacenamiento, la posibilidad de incrementar los nutrientes esenciales para desarrollar la gónada.

8 .- REFERENCIAS

- Agatsuma, Y., Sato, M., Taniguchi, K., 2005. Factors causing brown-coloured gonads of the sea urchin *Strongylocentrotus nudus* in northern Honshu, Japan. *Aquaculture* 249, 449–458.
- Andrew, N. L., Agatsuma, Y., Ballesteros, E., Bazhin, A.G., Creaser, E.P., Barnes, K.A., Botsford, L.W., Bradbury, A., Campbell, A., Dixon, J.D., Einarsson, S., Gerring, P.K., Hebrt, K., Hunter, M., Kalvass, P., Miller, R.J., Moreno, C.A., Palleiro, J.S., Steneck, R.S., Vadas, R.L., Woodby, D.A. y Xiaoqi, Z. 2002. Status and management of world sea urchin fisheries. *Oceanography Marine Biology. Annual Review* 40: 343-425.
- Arafa, S., Chouaibi, M., Sadok, S., Abed, A. 2012. The Influence of Season on the Gonad Index and Biochemical Composition of the Sea Urchin *Paracentrotus lividus* from Golf of Tunis. *The Scientific World Journal*. doi:10.1100/2012/815935.
- Azad, A. K., Pearce, C. M., McKinley, R. S. 2011. Effects of diet and temperature on ingestion, absorption, assimilation, gonad yield, and gonad quality of the purple sea urchin (*Strongylocentrotus purpuratus*). *Aquaculture*. 317, 187-196.
- Beas-Luna, R. 2005. Dinámica poblacional del erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* en el borde entre un manto de sargazo y un desierto de erizos en la península de Baja California, México. (Tesis de Maestría) Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Ensenada, Baja California, México.
- Calva, B. L. G. 2003. Hábitos alimenticios de algunos Equinodermos. Parte 2 erizos de mar y pepinos de mar. *Contactos* 47, 54-63.
- Castell, J.D., Kennedy, E., Shawn, M.C., Robinson, G., Tammy Blair., González-Durán, E. (2004). Effect of dietary lipids on fatty acid composition and

- metabolism in juveniles green sea urchins (*Strongylocentrotus droebachiensis*) *Aquaculture* 242 417-45.
- Cellario, C., Fenaux, L., 1990. *Paracentrotus lividus* in culture (larval and benthic phases): parameters of growth observed during two years following metamorphosis. *Aquaculture*. 84: 173-188.
- Cook, E.J., Kelly, M.S. y McKenzie, J.D. 1998. Somatic and gonadal growth of sea urchin *Psammochinus miliarisk* (Gmelin) fed artificial Salmón food compared with a macroalga diet. *J. Shell. Res.*, 17: 1549-1555.
- Cuesta, G. D. M. 2012. Crecimiento e incremento gonadal del erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* alimentado con *Macrocystis pyrifera* y *Ulva lactuca* enriquecidas con nutrientes. Tesis de maestría. CICESE. Ensenada, B. C. 128 pp.
- Duggins, D. 1983. Starfish predation and the creation of mosaic patterns in a kelp-dominated community. *Ecology*. 64, 1610-1619.
- Ebert, T. A. 1968. Growth rates of the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* related to food availability and spine abrasion. *Ecology*. 49, 1075-1092.
- FAO.2014. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. 2014. Roma.250 págs. (disponible también en <http://www.fao.org/3/a-i3720s.pdf>).
- Fernández, C., Dombrowski, E y Caltagirone, A. 1995. Gonad growth of adult sea urchin, *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) in rearing: the effect of different diet type. 269-275 pp. en *Echinoderm Research 1995* (eds. R.H. Emson, A.B. Smith & A.C. Campbell), Balkema, Rotterdam, 341 pp.
- Fernández, C. 1997. Effect of diet on the biochemical composition of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) under natural and rearing conditions. *Comp. Biochem. Physiol.* 118, 1377-1384.
- Fernández, C., Pergent, G. 1998. Effect of different formulated diets and rearing conditions on growth parameters in the sea urchin *paracentrotus lividus*. *Shellfish Research*. 17, No. 5, 1571-1581.

- Fernández C., Boudouresque Ch. 1998. Evaluating artificial diets for small *Paracentrotus lividus*. Echinoderm: San Francisco, Mooi & Telford (eds): 651-656, Balkema, Rotterdam.
- Folch, J., Lees, M., Sloane, S.G.H. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J. Biol. Chem. 226, 497-509.
- Giese, A. C. 1966. On the biochemical constitution of some echinoderms. En: R. A, Boolotian (ed.). Physiology of Echinodermata. New York, NY. Interscience. pp. 822.
- Gonor, J. 1973. Reproductive cycles in Oregon populations of the echinoid, *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson, 1857). Annual gonad growth and ovarian gametogenetic cycles. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 12, 45–64.
- González-Durán, E. 2005. Universidad Autónoma de Campeche. Biología y Metabolismo de Erizos de Mar. JAINA Boletín Informativo, Vol. 15 (1).
- Gotshall, D. W. 1994. Guide to marine invertebrates: Alaska to Baja California. Monterey, C.A. Sea Challengers. pp. 105.
- Greenfield, L., Giese, A. C., farmaian. A., Boolootian, R. A. 1958. Cyclic biochemical changes in several echinoderms. J. Exp. Zool. 139, 507-524.
- Grosjean, Ph., Spirlet, Ch., Jangoux, M. 1996. Experimental study of growth in the echinoid *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) (Echinodermata), 201:173-184.
- Hammer, H., Watts, S., Lawrence, A., Lawrence, J., Desmond, R., 2006. The effect of dietary protein on consumption, survival, growth and production of the sea urchin *Lytechinus variegatus*. *Aquaculture* 254, 483–495.
- Kenner, M. C., Lares, M. T. 1991. Size at first reproduction of the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* in a central California kelp forest. Mar. Ecol. Prog. Ser. 76, 303-306.
- Lasker, R., Giese, A. C. 1954. Nutrition of the sea urchin. *Strogylocentrotus purpuratus*. Biol. Bull. 106, 328-340.

- Lawrence, J. M, Lane, J. M (1982) The utilization of nutrients by postmetamorphic echinoderms. In: Jangoux M, Lawrence JM. Echinoderm nutrition. A.A. Balkema, Rotterdam, pp 331–371
- Lawrence, J.M., Fenaux, L., Corre, M.C. y Lawrence, A.1992. The effect of quantity and quality of prepared diets on production in *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea). En: Scalera-Liaci, L. y Canicatti, C. Echinoderm Research 1991, 107-110. Rotterdam: Balkema.
- Liyana-Pathirana, C., Shahidi, F., Whittick, A., Hooper, R. 2002. Effect of season and artificial diet on amino acids and nucleic acids in gonads of green sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis*. Comp. Biochem. Physiol. 133, 389–398.
- Mann, K. H. 2000. Ecology of costal water with implications for management. Blackwell Science. 125p.
- McBride, S.D., Pinnix, W.D., Lawrence, J.M., Lawrence, A.L., Mulligan, T.M. 1997. The effect of temperature on production of gonads by the sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* fed natural and prepared diets. *J. Wor. Aqua. Soc.*, 28:357-365.
- McShane, P.E., Anderson, O.F. 1997. Resource allocation and growth rates in the sea urchin *Evechinus cloroticus* (Echinoidea: Echinometridae). Mar. Biol., 128: 657-663.
- Mottet, M. G. 1976. The fishery biology of sea urchins in the family of the sea urchin Strongylocentrotidae. Washington. Deep Fisheries Technical Report. 20, 1-66.
- Palleiro-Nayar, J., Aguilar Montero, D., Romero Martínez, J. M. 1996. La pesquería del erizo de mar en Baja California, México. Las pesquerías relevantes de México. XXX Aniversario del Instituto Nacional de la Pesca. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). pp. 313-335.
- Palleiro-Nayar, J.S. 2004. Dinámica de la población de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* sujeta a extracción comercial en Baja

- California. Tesis de Maestría. CICESE, Ensenada, Baja California, México. 74 pp.
- Palleiro-Nayar, J., Salgado-Rogel, M. L., Aguilar Montero, D. 2008. La pesca de erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus*, y su incremento poblacional en Baja California, México. *Cienc. Pesquera*. 16, 31–37.
- Palleiro-Nayar, J.; Salgado-Rogel, L., Castro, J. J., Caballero, F., Aguilar-Montero, D., Rivera-Ulloa, J. L. 2010. Estudio de las principales especies de importancia comercial de la comunidad bentónica de la Bahía del Rosario, Baja California. Instituto Nacional de Pesca. Dirección General de Investigación Pesquera en el Pacífico Norte. Informe Final de Investigación.
- Parker, D., Ebert, T. 2002. Purple sea urchin. En: Ryan, C., Patyten, M. 2004. Annual status of the fisheries report through 2003. California Department of Fish and Game Marine Region.
- 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.
- Pearce, C. M. 2004. Effect of urchin size and diet on gonad yield and quality in the green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*). *Aquaculture*. 233, 337-367
- Pearse, J. S., Giese, A. C. 1966. Food reproduction and organic constitution of common antarctic echinoid *Sterechinus neumayeri* (Meissner). *Biol. Bull.* 130, 378-401.
- Reynolds, J.A., Wilen, J.E., 2000. The sea urchin fishery: harvesting, processing and the market. *Mar. Res. Econ.* 15, 115–126.
- SAGARPA. 2012. Plan de Manejo Pesquero de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* y erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* en la península de Baja California, México. pp. 53-75.

- Shpigel, M., McBride, S.C., Marciano, S., Lupatsch, I., 2004. The effects of photoperiod and temperature on the reproduction of European sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Aquaculture* 232, 343–355.
- Sonnenholzner-Varas, J. I. 2011. Crecimiento y validación de la edad del erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson 1857) en condiciones naturales y de laboratorio. (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma de Baja California. (UABC). Ensenada, Baja California, México.
- Spirlet, C., Grosjean, P., Jangoux, M., 2000. Optimization of gonad growth by manipulation of temperature and photoperiod in cultivated sea urchins, *Paracentrotus lividus* (Lamarck) (Echinodermata). *Aquaculture*. 185, 85–99.
- Spirlet, C., Grosjean, P., Jangoux, M., 2001. Cultivation of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) on extruded feeds: digestive efficiency, somatic and gonadal growth. *Aquaculture. Nutr.* 7, 91–99.
- Workman, G., 1999. A review of the biology and fisheries for purple sea urchin (*Strongylocentrotus purpuratus*, Stimpson, 1857) and discussion of the assessment needs for a proposed fishery. Fisheries and Oceans Canada, Canadian Stock Assessment Secretariat, Research Document 99/163, pp. 1–57.