

La investigación reportada en esta tesis es parte de los programas de investigación del CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California).

La investigación fue financiada por el CONAHCYT (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías).

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México). El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo o titular de los Derechos de Autor.

**Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California**



**Maestría en Ciencias
en Ecología Marina**

**Distribución temporal y espacial del pez vieja de California
(*Semicossyphus pulcher*) con relación al erizo de mar y aspectos
ambientales en el Pacífico norte de Baja California, México**

Tesis
para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestra en Ciencias

Presenta:

Tammy Unger Cancela

Ensenada, Baja California, México
2024

Tesis defendida por
Tammy Unger Cancela

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Jorge Adrián Rosales Casián
Director de tesis

Dr. Héctor Alonso Echavarría Heras

Dr. Enrique Gómez Treviño



Dr. Rafael Andrés Cabral Tena
Coordinador del Posgrado en Ecología Marina

Dra. Ana Denise Re Araujo
Directora de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis que presenta **Tammy Unger Cancela** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestra en Ciencias en Ecología Marina.

Distribución temporal y espacial del pez vieja de California (*Semicossyphus pulcher*) con relación al erizo de mar y aspectos ambientales en el Pacífico norte de Baja California, México

Resumen aprobado por:

Dr. Jorge Adrián Rosales Casián
Director de tesis

El Pacífico Norte de Baja California, México, es una región que destaca por su gran diversidad ecológica y dinámica ambiental, caracterizada principalmente por la influencia de la corriente de California y la presencia de surgencias. Estas condiciones crean un ambiente único para especies marinas como el pez vieja de California (*Semicossyphus pulcher*) y los erizos de mar (*Strongylocentrotus franciscanus* y *Strongylocentrotus purpuratus*), el pez vieja California es uno de los pocos depredadores conocidos de los erizos de mar, los cuales, a su vez, desempeñan un papel clave en el mantenimiento de los bosques de macroalgas. Sin embargo, poco se conoce, de la relación específica entre la abundancia y distribución de estas dos especies en esta región. Se analizaron datos de captura mensual para el año 2021, durante condiciones oceanográficas de La Niña para evaluar las correlaciones entre las especies y los factores ambientales. Las capturas más altas de pez vieja se registraron en Ensenada (46,383 kg), seguida por El Rosario (40,102 kg) y San Quintín (12,082 kg). En cuanto a los erizos de mar, Ensenada también mostró las mayores capturas (580,550 kg) de erizo rojo, comparado con El Rosario (509,756 kg) y San Quintín (45,552 kg) con diferencias influenciadas por la temperatura. Aunque no se encontró una correlación significativa en San Quintín y El Rosario, en Ensenada mostró una relación débil pero significativa entre el pez vieja y el erizo rojo ($r=0.13$, $p<0.05$). Se observó que el pez vieja mostró una mayor estacionalidad por aguas cálidas mientras que un enfriamiento de las aguas favoreció la distribución temporal del erizo de mar (65% – 82%). Existe una correlación moderadamente positiva y fuerte entre el índice de estacionalidad de los erizos rojo y morado ($r=0.66$). Los resultados sugieren que factores adicionales más allá de la temperatura y las surgencias influyen en la dinámica poblacional de estas especies. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar tanto las condiciones oceanográficas como la distribución temporal de las especies marinas, dada la relevancia de las regiones estudiadas para la pesca comercial y deportiva.

Palabras clave: Pez vieja de California, erizo de mar, pesca y captura, abundancia, estacionalidad

Abstract of the thesis presented **by Tammy Unger Cancela** as a partial requirement to obtain the Master of science degree in Marine Ecology.

Temporal and Spatial Distribution of the California Sheephead (*Semicossyphus pulcher*) in Relation to Sea Urchins and Environmental Aspects in the Northern Pacific of Baja California, Mexico

Abstract approved by:

Ph.D. Jorge Adrián Rosales Casián
Thesis Director

The North Pacific coast of Baja California, Mexico, is a region noted for its rich ecological diversity and dynamic environmental conditions, primarily characterized by the influence of the California Current and the presence of upwelling. These conditions create a unique environment for marine species such as the California sheephead (*Semicossyphus pulcher*) and sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus* and *Strongylocentrotus purpuratus*). The California sheephead is one of the few known predators of sea urchins, which, in turn, play a key role in maintaining kelp forests. However, the specific relationship between the abundance and distribution of these two species in this region is not well understood. Monthly catch data for 2021 was analyzed under La Niña oceanographic conditions to assess correlations between the species and environmental factors. The highest catches of California sheephead were recorded in Ensenada (46,383 kg), followed by El Rosario (40,102 kg) and San Quintín (12,082 kg). Regarding sea urchins, Ensenada also showed the highest catches (580,550 kg) of red urchin, compared to El Rosario (509,756 kg) and San Quintín (45,552 kg), with differences influenced by temperature. Although no significant correlation was found in San Quintín and El Rosario, Ensenada showed a weak but significant relationship between California sheephead and red urchin ($r=0.13$, $p<0.05$). It was observed that California sheephead showed greater seasonality in warm waters, while cooling waters favored the temporal distribution of sea urchins (65% – 82%). There is a moderately positive and strong correlation between the seasonal indices of red and purple sea urchins ($r=0.66$). The results suggest that additional factors beyond temperature and upwelling influence the population dynamics of these species. These findings highlight the importance of considering both oceanographic conditions and the temporal distribution of marine species, given the relevance of the studied regions for commercial and recreational fishing.

Keywords: California sheephead, sea urchin, fishing and harvesting, abundance, seasonality

Dedicatoria

Las corrientes del mar siempre están cambiando, pero tú tienes lo que se necesita para navegar en las aguas de la vida. Eres lo suficientemente fuerte para anclar tus sueños y hacerlos realidad. ⚓

Agradecimientos

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE) por brindarme la oportunidad y confianza para crecer personal y profesionalmente a través de su comunidad académica.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por su compromiso con la educación y la investigación en México que por medio de apoyos económicos permiten que estudiantes como yo puedan continuar su formación y contribuir al desarrollo científico del país.

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Jorge Adrián Rosales Casián que más que el director de tesis se convirtió en un amigo y colega. Gracias por creer en mí cuando aún no tenía claro el camino a seguir. Agradezco profundamente su calidad humana, siempre preocupado por mi bienestar físico y mental. Gracias por cada salida de campo, cada aventura y cada nueva experiencia. Gracias al equipo “Los Rosalios” por las risas y la compañía.

Extiendo mi agradecimiento al resto de mi comité conformado por el Dr. Héctor Alonso Echavarría Heras y el Dr. Enrique Gómez Treviño, aprecio el tiempo, dedicación y confianza para integrarse en este proyecto.

A mis padres, quienes por ellos soy quien soy hoy. Ustedes son el mejor ejemplo de constancia. Su apoyo y amor incondicional fueron, son y serán siempre mi lugar seguro. No hay palabras suficientes para expresarles mi agradecimiento. Los amo infinitamente.

A mi sabonim, Paulina Noriega y a la familia y amigos de Humi TKD por su constante guía en el ámbito marcial. La disciplina, el enfoque y la resiliencia que brinda el tae kwon do han sido fundamentales e influyentes en mi formación académica y profesional. Los valores de cada entrenamiento, como la perseverancia, el respeto y el esfuerzo continuo, me han permitido enfrentar los desafíos de mi maestría con una mayor determinación.

A César Lam y el equipo de Baja Sport por literalmente nunca dejarme caer, por estar ahí para sostenerme y enseñarme que, aunque los retos físicos pueden ser grandes, nuestro mayor bloqueo siempre es la mente. Gracias por enseñarme a confiar en mí misma, ahora sé que podemos lograr mucho más de lo que imaginamos.

A América Denisse por crear a tan hermosa comunidad, aprecio enormemente la dedicación y el espíritu que caracterizan a Barré Danza Studio. Gracias por brindar un ambiente de apoyo y solidaridad entre mujeres. Gracias a cada una de las maestras y mujeres por cada clase, cada hiking, cada reunión y cada viaje ¿Ahora cuál es el plan?

Gracias a cada persona que tuve el placer de conocer en Ensenada, estoy convencida de que estaban destinados a cruzarse en mi camino. Aprecio profundamente las conexiones ya sean grandes o pequeñas que compartimos, les garantizo que cada una de ustedes desempeñó un papel único y significativo en este capítulo de mi vida y las llevaré por siempre en mis recuerdos.

Mi agradecimiento también a mi tribu en Ciudad de México, aunque la distancia nos separó unos cuantos kilómetros, su apoyo incondicional ha estado presente en las buenas y en las malas. Gracias por estar pendiente con mensajes, llamadas y detalles, su amistad y comprensión me brindaron fuerza y consuelo cuando más lo necesité. Estoy profundamente agradecida por tenerlos en mi vida y por la manera en que han estado a mi lado, sin importar la distancia. Ustedes saben quiénes son.

Finalmente, quiero dedicar un especial agradecimiento a mi roomie felina, mi compañera en esta aventura, mi adorada gatita Mérida. A lo largo de varios vuelos y mudanzas ha sido una constante en mi vida. Tu presencia, calidez, compañía y ronroneo son pura alegría y un refugio de calma en mi vida.

Tabla de contenido

	Página
Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	x
Lista de tablas	xii
Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Antecedentes	3
1.1.1 Ecología Pez Vieja.....	4
1.1.1a Alimentación	4
1.1.1b Reproducción	4
1.1.1c Hábitat y distribución	5
1.1.1d Pesquería.....	6
1.1.1e Importancia ecológica	7
1.1.2 Ecología del erizo del mar	7
1.1.2a Alimentación	8
1.1.2b Reproducción	8
1.1.2c Hábitat y distribución	10
1.1.2d Captura.....	10
1.1.2e Importancia ecológica	11
1.2 Justificación	11
1.3 Hipótesis.....	12
1.4 Objetivos	12

1.4.1	Objetivo general.....	12
1.4.2	Objetivos específicos.....	13
Capítulo 2. Metodología.....		14
2.1	Área de estudio	14
2.2	Condiciones ambientales	15
2.2.1	Temperatura superficial.....	15
2.2.2	Índice de surgencias.....	16
2.3	Trabajo de gabinete	16
2.3.1	Pesca y captura.....	16
2.3.2	Análisis estadísticos.....	17
2.3.2a	Normalidad.....	17
2.3.2b	Homogeneidad de varianzas.....	17
2.3.2c	Análisis de Varianza (ANOVA) y Kruskal-Wallis	18
2.3.2d	Correlación	18
2.3.2e	Índice de estacionalidad.....	19
2.4	Trabajo en campo.....	19
Capítulo 3. Resultados.....		20
3.1	Análisis ambientales.....	20
3.2	Pesca del pez vieja de California y captura de erizos rojo y morado	20
3.2.1	Vieja de California (<i>Semicossyphus pulcher</i>)	20
3.2.1a	Ensenada	21
3.2.2b	San Quintín.....	22
3.2.1c	El Rosario	23
3.2.2	Erizo Rojo (<i>Strongylocentrotus franciscanus</i>).....	24
3.2.2a	Ensenada	25
3.2.2b	San Quintín.....	26
3.2.2c	El Rosario	27

3.2.3 Erizo Morado (<i>Strongylocentrotus purpuratus</i>)	28
3.2.3a Ensenada	28
3.2.3b San Quintín.....	29
3.2.3b El Rosario.....	30
3.3 Análisis estadísticos.....	31
3.3.1 Normalidad	31
3.3.2 Homogeneidad de varianzas	31
3.3.3 Análisis de Varianza (ANOVA) y Kruskal-Wallis	32
3.3.4 Correlaciones.....	33
3.3.4a Biomasa - Temperatura.....	33
3.3.4b Biomasa – Índice de surgencias	34
3.3.4c Relación de las biomosas.....	35
3.3.5 Índice de estacionalidad (IE)	35
3.3.5a Ensenada	36
3.3.5b San Quintín.....	37
3.3.5c El Rosario	37
3.3.6 Correlaciones respecto a los valores de IE	38
Capítulo 4. Discusión	39
4.1 Abundancia.....	40
4.2 Temperatura.....	41
4.3 Surgencias	42
4.4 Índice de estacionalidad.....	43
4.5 Relación entre las especies	43
Capítulo 5. Conclusiones.....	45
5.1 Recomendaciones futuras.....	46
Literatura citada	47

Lista de figuras

Figura	Página
1. Relación ecológica entre el pez vieja de California y los erizos de mar	2
2. Ciclo de vida del pez Vieja de California (Moutafain, 2017)	¡Error! Marcador no definido.
3. Porcentaje promedio de utilización de tipos de hábitat geológico y biológico por 16 ejemplares de vieja de California (Topping, 2005).	¡Error! Marcador no definido.
4. Linterna de Aristóteles. (Thomas, 1902)	¡Error! Marcador no definido.
5. Representación diagramática del sistema reproductivo del erizo de mar en vista lateral de la zona aboral. (Walker, 2007)	¡Error! Marcador no definido.
6. Ciclo de vida Erizo de mar (Dupont et al., 2013)	9
7. Localización Bahía de San Quintín, Baja California. (Rosales-Casián, 2022).	14
8. Corrientes Geostróficas (Peláez & McGowan, 1986)	15
9. Variación del promedio de temperatura (°C) superficial del agua de mar e índices de surgencia durante el 2021-2022	200
10. Variación mensual de la captura de pez vieja de California en Ensenada, BC temporada de pesca 2021-2022	222
11. Variación mensual de la captura de pez vieja de California en San Quintín, BC temporada de pesca 2021-2022	233
12. Variación mensual de la captura de pez vieja de California en El Rosario, BC temporada de pesca 2021-2022	244
13. Variación mensual de la captura de erizo rojo en Ensenada, BC temporada de pesca 2021-2022	255
14. Variación mensual de la captura de erizo rojo en San Quintín, BC temporada de pesca 2021-2022	266
15. Variación mensual de la captura de erizo rojo en El Rosario, BC temporada de pesca 2021-2022	277
16. Variación mensual de la captura de erizo morado en Ensenada, BC temporada de pesca 2021-2022	2929
17. Variación mensual de la captura de erizo morado en San Quintín, BC temporada de pesca 2021-2022	300

18. Variación mensual de la captura de erizo morado en El Rosario, BC temporada de pesca 2021-2022.....	311
19. Índice de estacionalidad de vieja de California, erizo rojo y erizo morado Ensenada, B.C temporada de pesca 2021-2022	366
20. Índice de estacionalidad de vieja de California, erizo rojo y erizo morado San Quintín, B.C temporada de pesca 2021-2022	377
21. Índice de estacionalidad de vieja de California, erizo rojo y erizo morado El Rosario, B.C temporada de pesca 2021-2022	38

Lista de tablas

Tabla	Página
Tabla 1. Taxonomía del pez Vieja de California (Cornish & Dormeier, 2006).	4
Tabla 2. Taxonomía del erizo de mar rojo y erizo de mar morado (Kroh, 2024)	7
Tabla 3. Número de arribos y captura total (kg), captura máxima y mínima y promedio (+ SE, error estándar) del pez vieja de California para Ensenada, BC temporada de pesca 2021-2022.....	21
Tabla 4. Número de arribos y captura total (kg), captura máxima y mínima y promedio (+ SE, error estándar) del pez vieja de California para San Quintín, BC temporada de pesca 2021-2022	22
Tabla 5. Número de arribos y captura total (kg), captura máxima y mínima y promedio (+ SE, error estándar) del pez vieja de California para El Rosario, BC temporada de pesca 2021-2022	24
Tabla 6. Número de arribos y captura total (kg), captura máxima y mínima y promedio (+ SE, error estándar) del erizo rojo para Ensenada, BC temporada de pesca 2021-2022.....	25
Tabla 7. Número de arribos y captura total (kg), captura máxima y mínima y promedio (+ SE, error estándar) del erizo rojo para San Quintín, BC temporada de pesca 2021-2022.....	26
Tabla 8. Número de arribos y captura total (kg), captura máxima y mínima y promedio (+ SE, error estándar) del erizo rojo para El Rosario, BC temporada de pesca 2021-2022.....	27
Tabla 9. Número de arribos y captura total (kg), captura máxima y mínima y promedio (+ SE, error estándar) del erizo morado para Ensenada, BC temporada de pesca 2021-2022.....	28
Tabla 10. Número de arribos y captura total (kg), captura máxima y mínima y promedio (+ SE, error estándar) del erizo morado para San Quintín, BC temporada de pesca 2021-2022	29
Tabla 11. Número de arribos y captura total (kg), captura máxima y mínima y promedio (+ SE, error estándar) del erizo morado para El Rosario, BC temporada de pesca 2021-2022	30
Tabla 12. Resultados prueba de normalidad de Kolmogórov-Smirnov y prueba de homogeneidad de varianzas de Levene	32
Tabla 13. Resultados Análisis de varianza ANOVA y prueba no paramétrica Kruskal-Wallis	32
Tabla 14. Índice de estacionalidad temporada de pesca 2021-2022.....	35

Capítulo 1. Introducción

La costa de Baja California ubicada en el Pacífico, y con un clima templado, alberga una alta diversidad de especies derivado de condiciones oceanográficas únicas, que crean hábitats submareales productivos, tanto en costas e islas como en arrecifes rocosos, particularmente en la costa de San Quintín, Baja California, México (Álvarez-Borrego, 2004), la cual se caracteriza por su actividad pesquera comercial y deportiva (Pondella et al., 2018).

En la actualidad, estas actividades han llevado a una sobreexplotación, generando preocupación sobre los impactos en el funcionamiento de los ecosistemas, puesto que la extracción intensiva de especies clave puede alterar el equilibrio, la estructura poblacional y las redes alimentarias tanto por procesos directos como indirectos (Hamilton et al., 2014).

Una especie de pez conspicua por su coloración y tamaño, así como su importancia comercial y ecológica es el pez vieja de California (*Semicossyphus pulcher*), la cual ocupa el tercer lugar de importancia en cuanto a volumen de captura comercial en Baja California (Rosales-Casián & González-Camacho, 2003); esta especie es particularmente conocida por ser de las pocas en incluir a los erizos de mar como parte de su dieta, convirtiéndola en uno de sus principales depredadores. Por lo que, la captura excesiva puede llevar a un incremento en las poblaciones de estas presas (Hamilton & Caselle, 2015).

Por otro lado, las especies de erizos que se explotan en Baja California son el erizo rojo (*Strongylocentrotus franciscanus*), y el erizo morado (*Strongylocentrotus purpuratus*), el primero presenta coloración rojiza y espinas puntiagudas, es un herbívoro fundamental en la comunidad marina, siendo su función compartida por el erizo morado (Hickman et al., 2008). Este último se caracteriza por su tono violeta, menor tamaño y espinas más delgadas y alargadas. Ambas especies desempeñan papeles esenciales en los ecosistemas marinos, interactuando con otros organismos bentónicos juveniles al brindarles hábitat y refugio. Además, influyen en la composición, estructura y ciclos reproductivos de algas verdes, rojas y pardas (Ebert & Russell, 1992). Al alimentarse de algas, los erizos de mar mantienen las poblaciones bajo control influyendo en la diversidad de otras especies.

La relación ecológica que se desarrolla entre el pez vieja de California y los erizos de mar (Figura 1) juega un papel clave en regulación de la población de estos últimos y su influencia en las algas marinas (Hamilton & Caselle, 2015), ya que ejercen un impacto en los bosques de macroalgas (Bernardi et al., 2022). En la

costa de San Quintín, Baja California, y en otras áreas de la zona templada del Pacífico en donde el pez vieja es capturado (Rosales-Casián & González-Camacho, 2003), la coexistencia de esta especie con sus presas subraya la necesidad de investigar esta relación para inferir sobre el estado ecológico de los ecosistemas marinos locales.

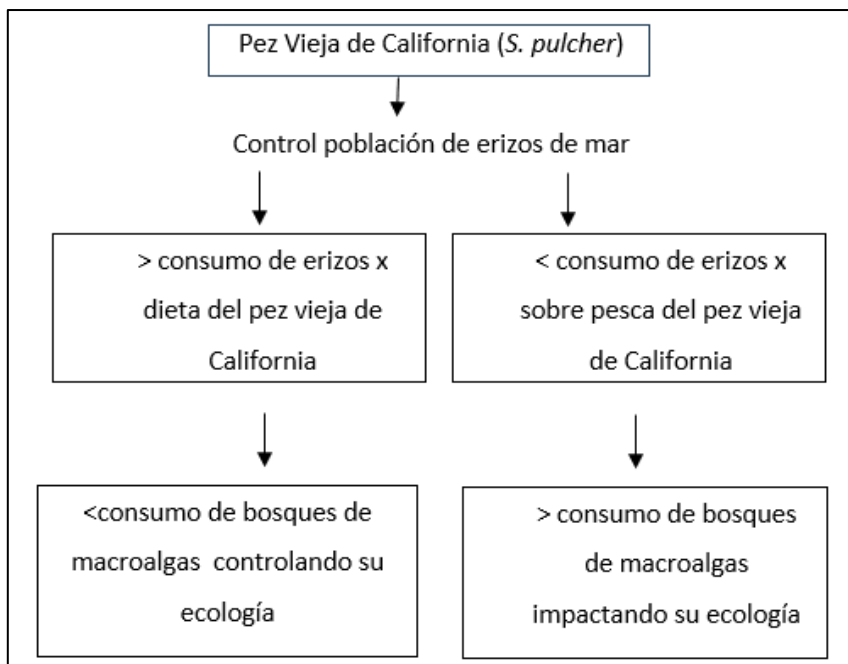


Figura 1. Relación ecológica entre el pez vieja de California y los erizos de mar

La interacción entre estas especies y su relación con las condiciones ambientales de la región determinan su papel y contribución a estas dinámicas. Factores como los cambios estacionales de temperatura o eventos climáticos anómalos, como el fenómeno del Niño o La Niña, y su influencia en las surgencias pueden tener un impacto significativo en la ecología de estas especies y sus capturas (Medellín-Ortiz et al., 2022).

El uso de información recopilada puede ayudar a observar los patrones y tendencias respecto al tiempo. Esto permite inferir un equilibrio de los ecosistemas marinos donde habitan los organismos involucrados en este estudio, en respuesta a factores como la pesca y las condiciones oceanográficas.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es determinar la relación entre estas especies, mediante sus abundancias capturadas en la región costera de San Quintín, B.C., para identificar patrones temporales en las poblaciones del pez vieja de California y los erizos, así como su posible relación con factores ambientales como la temperatura del agua y las surgencias.

1.1 Antecedentes

La relación entre el pez vieja de California y los erizos de mar es una interacción notable pero poco se ha estudiado en los ecosistemas marinos; el pez vieja es uno de los depredadores naturales diurnos de los erizos de mar y es conocido por su capacidad para abrirlos (Tegner & Levin, 1983), y esta relación puede tener un impacto significativo en sus abundancias y en otras presas (Tegner & Dayton, 1981). Cuando la población de peces vieja es abundante y activa en una determinada área, puede ejercer una presión sobre las poblaciones de erizos de mar actuando como regulador de su crecimiento (Cowen, 1983). Conforme disminuyen los erizos de mar, es posible que se reduzca la presión de pastoreo sobre las algas marinas, lo que puede permitir su recuperación y crecimiento, beneficiando a algunos organismos al presentarse mayor espacio y recursos, mientras que perjudica a otros al reducir su hábitat y fuentes de alimento. (SAGARPA, 2012). Sin embargo, esta dinámica puede ser compleja y variar según la disponibilidad de presas, la densidad de peces vieja y otros factores ambientales como la temperatura del hábitat (Caselle et al., 2011).

La pesquería del pez vieja es relevante en la región de San Quintín, Baja California (Rosales-Casián & González-Camacho, 2003). Según datos de la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA, 2024) en 2021, se reportó la cifra de 12,082 kg de peso vivo para dicha región. Esta especie se utiliza tanto para consumo humano, como trofeo por deporte y como carnada en la pesca de otras especies; dado que el pez vieja puede ser una especie objetivo en pesquerías comerciales y recreativas, su vigilancia es esencial para evitar la sobreexplotación.

La pesquería de erizo de mar, principalmente rojo, también es una actividad importante en Baja California debido a la alta demanda en el mercado internacional de mariscos (Conand & Sloan, 1989; SAGARPA, 2012). En 2021, CONAPESCA reportó una captura de 1,135,858 kg de peso vivo para la región de Ensenada, San Quintín y El Rosario (CONAPESCA, 2024). Esta especie es altamente valorada en la industria culinaria debido a la calidad de sus gónadas (Conand & Sloan, 1989).

El erizo rojo se encuentra en aguas más profundas y es el mayormente explotado (Ramírez, 2008), y el erizo de mar morado es más común en aguas someras (Ardila et al., 2002). Las poblaciones de erizos de mar han experimentado fluctuaciones debido a la presión de la pesca y por cambios en las condiciones ambientales (Daw et al., 2009), por lo que, se continúa investigando la ecología y la dinámica de estas especies para respaldar la toma de decisiones en la gestión pesquera en México. (Defeo, 2015).

1.1.1 Ecología Pez Vieja

Tabla 1. Taxonomía del pez Vieja de California (Cornish & Dormeier, 2006).

Reino	Animalia
Filo	Chordata
Familia	Labridae
Orden	Perciformes
Genero	<i>Semicossyphus</i>
Especie	<i>S. pulcher</i> (Ayres, 1854)

1.1.1a Alimentación

El pez vieja de California es voraz y realiza emboscadas y ataques rápidos para capturar las presas, es carnívoro, generalista, y depreda durante las horas de luz (Topping et al., 2005). Su dieta es amplia sobre macroinvertebrados como moluscos, equinodermos, cangrejos, poliquetos y briozoos de sitios rocosos y arenosos (Hobson & Chess, 2001; Johnson et al., 1994).

El pez vieja de California desempeña un papel en el control de la estructura de población y abundancia de uno de los organismos que selecciona en su dieta, el erizo de mar (Nelson & Vance, 1979; Tegner & Dayton, 1977, 1981; Cowen, 1983), por lo tanto, tienen un efecto indirecto en la densidad y distribución de las macroalgas (Dayton et al., 1998). Sin embargo, la variabilidad de la cantidad y tipos de presas disponibles, junto con la densidad de la población de viejas y sus competidores, pueden influir en su dieta, y en última instancia, en el papel de este depredador en una comunidad (Cowen, 1986).

1.1.1b Reproducción

El pez vieja es un hermafrodita protogínico, inician como hembras y algunos se desarrollan como machos conforme crecen, la hembra dominante de un grupo cambia de sexo en respuesta a la eliminación del macho dominante, por lo que esta transición depende de las interacciones sociales dentro de la población (Cowen, 1990).

Durante la reproducción desde agosto hasta finales de octubre, los machos cortejan a las hembras y liberan esperma en el agua para fertilizar entre 36,000 y 296,000 huevos, los cuales son dispersados en la columna de agua por corrientes marinas y después de la eclosión se convierten en larvas planctónicas. No existe cuidado parental en esta especie (Cornish & Dormeier, 2006). El pez vieja de California es considerada juvenil hasta que alcanza aproximadamente los 25 cm de longitud, momento en el cual puede experimentar un cambio de género (Figura 1), ya que, en ausencia de machos reproductores, algunas hembras iniciales experimentan un cambio de sexo para convertirse en machos terminales y alcanzar la madurez, lo que suele ocurrir a los cuatro años y con una longitud total de hasta 45 cm (Warner, 1975). Lo anterior está influenciado por condiciones ambientales y la disponibilidad de alimentos. (Froese, 2006).

Estos machos terminales son individuos más grandes y robustos, con coloración distintiva: una cabeza negra al igual que la parte de la cola, la mandíbula inferior y parte de su vientre en blanco, y en la parte media del cuerpo en rojo (Caselle et al., 2009) (Figura 2).

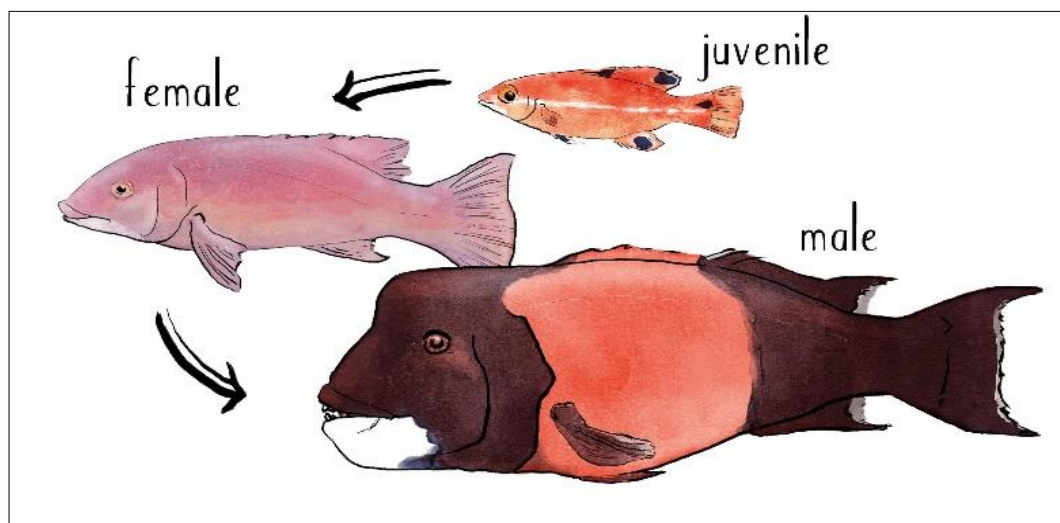


Figura 2. Ciclo de vida del pez Vieja de California (Moutafain, 2017)

1.1.1c Hábitat y distribución

Geográficamente, se encuentran en el Océano Pacífico Oriental, desde Monterey Bay, California, EUA, hasta el Pacífico de Baja California, México, y el Golfo de California (Cornish & Dormeier, 2006).

Habitan en aguas templadas, en sitios o arrecifes rocosos con macroalgas, que son altamente productivos y ricos en biodiversidad. Se le encuentra en cuevas, grietas y espacios donde se refugia de depredadores

(Myers, 2023). Durante el día, el pez vieja ha exhibido un mayor uso del hábitat con lodo/arena (46 %) seguido de pared y lecho rocoso (22 %) con cobertura de algas (Topping & Caselle, 2015) (Figura 3).

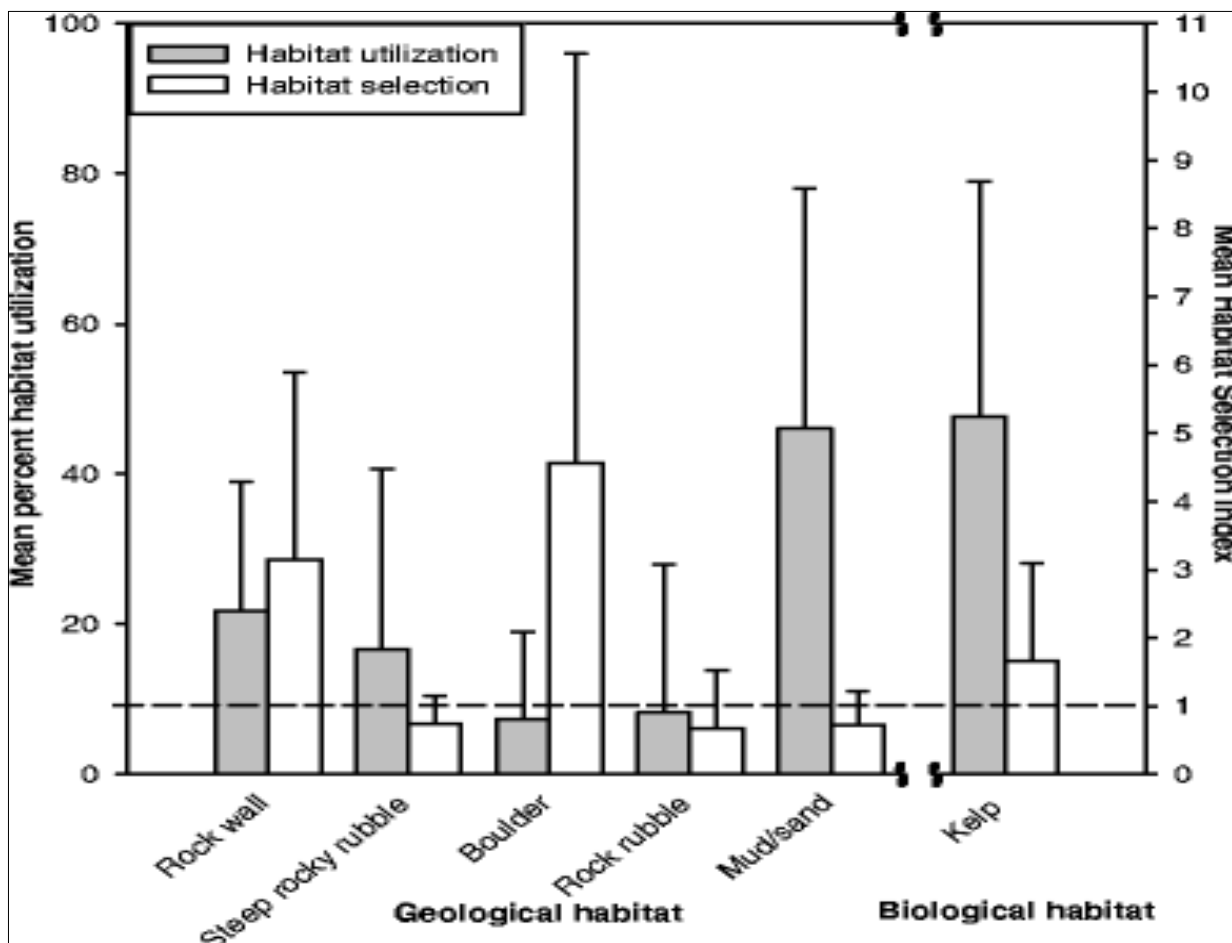


Figura 3. Porcentaje promedio de utilización de tipos de hábitat geológico y biológico por 16 ejemplares de vieja de California (Topping, 2005).

El pez vieja de California presenta alta fidelidad a sus hábitats por largos períodos, especialmente durante la noche cuando se refugia de depredadores, sin embargo, ocasionalmente puede moverse en busca de alimento o territorio (Wiley, 1974; Ebeling & Bray, 1976; Hobson et al., 1981).

1.1.1d Pesquería

Esta especie es altamente valorada comercial y deportivamente por su tamaño y excelente sabor, son capturadas con línea y anzuelo, trampas y redes, con regulaciones estrictas en California sobre la talla mínima, su época de reproducción y el límite de captura diaria (Wood, 1967).

En California EE. UU. la captura a bordo de una embarcación por parte de pescadores y buzos aficionados solo es permitida del 01 de marzo hasta el 31 de diciembre, pero puede ser realizada en tierra, es decir, fuera de una embarcación, en zonas costeras durante todo el año (California Department of Fish and Wildlife, 2022).

Por otro lado, en la costa noroeste de Baja California, México, la temporada de pesca comercial de vieja de California está abierta durante todo el año tanto en embarcaciones como fuera de ellas lo que resalta un atractivo por las aguas mexicanas entre los amantes de la pesca. La pesca artesanal de este organismo es importante, ya que, alcanza hasta un 26 % de la captura total y alcanzando tallas con una longitud estándar promedio de $312.2 \pm SE 56.8$ mm (Rosales-Casián & González-Camacho, 2003).

1.1.1e Importancia ecológica

El pez vieja de California es depredadora de muchas presas incluyendo erizos, regulando su población y contribuyendo indirectamente al mantenimiento de los bosques de macroalgas y a la coexistencia con una mayor diversidad de especies, a su vez son presa de tiburones y lobos marinos, conectándolas con otros niveles tróficos, e influyendo en la dinámica y complejidad de su entorno (Smith et al., 2021). La importancia ecológica del pez vieja de California se relaciona con la cascada trófica en el ecosistema costero, un cambio en su abundancia puede afectar a otras especies de niveles tróficos inferiores o superiores con impactos significativos en el ecosistema (Tuya, 2004).

1.1.2 Ecología del erizo del mar

Tabla 2. Taxonomía del erizo de mar rojo y erizo de mar morado (Kroh, 2024)

	Erizo Rojo	Erizo Morado
Reino	Animalia	Animalia
Filo	Echinodermata	Echinodermata
Familia	Echinodea	Echinodea
Orden	Echinoida	Echinoida
Género	<i>Strongylocentrotus</i>	<i>Strongylocentrotus</i>
Especie	<i>S. franciscanus</i> (Agassiz, 1863)	<i>S. purpuratus</i> (Stimpson, 1857)

1.1.2a Alimentación

Los erizos de mar son ávidos herbívoros y se alimentan en una variedad de algas verdes, rojas y pardas, y como adulto prefiere el alga parda *Macrocystis pyrifera*, la cual es abundante en las costas de Pacífico de Baja California (Tegner & Dayton, 1977; Vadas, 1977; Dayton & Tegner, 1984). Sin embargo, los erizos de mar pueden consumir una gran variedad de alimentos, lo que les otorga cierto grado de omnivorismo (Lawrence, 2020).

Al consumir grandes cantidades de algas modifican la estructura de las comunidades y han causado daños por la destrucción completa en áreas del sur de California (Leighton, 1971), por lo que se han asignado considerables recursos para disminuir los erizos de mar para restaurar las algas (Wilson et al., 1977).

Los erizos de mar se desplazan de manera lenta por el lecho marino. Utilizan un particular y efectivo aparato bucal llamado linterna de Aristóteles (Figura 4); este órgano, se conforma por cinco dientes móviles dispuestos en forma de estrella y recubiertos por una sustancia calcárea que les permite raspar, triturar y consumir su alimento (Storer et al., 1975).

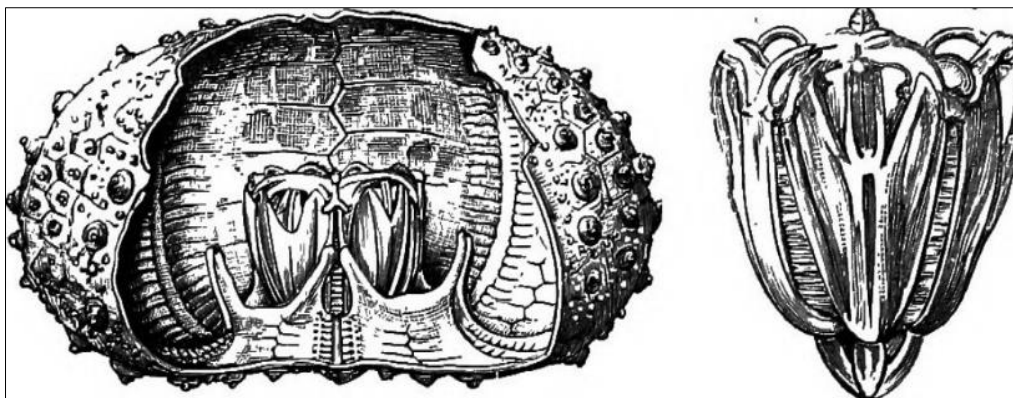


Figura 4. Linterna de Aristóteles. (Thomas, 1902)

La temperatura óptima de alimentación se presenta en el intervalo de 15 a 17 grados °C, por lo que cambios ambientales por eventos El Niño producen un impacto negativo al reducir las algas, y a su vez incrementan la asimilación y el metabolismo de los erizos (Leighton, 1971).

1.1.2b Reproducción

El erizo rojo no presenta dimorfismo sexual, es decir, machos y hembras tienen una apariencia externa

similar. Su sistema reproductor presenta cinco gónadas conectadas por mesenterios dentro de su caparazón (Figura 5).

La madurez sexual se determina cuando la talla de su caparazón tiene un diámetro de aproximadamente 50 a 60 mm (Ruíz-López et al., 1987; Urías-González, 1994). Por lo general, maduran durante los meses más cálidos del año.

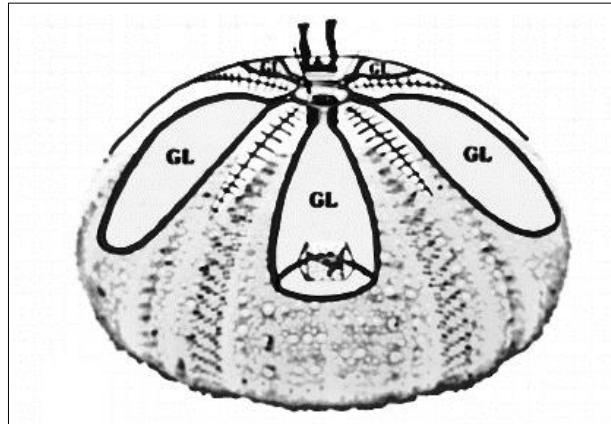


Figura 5. Representación diagramática del sistema reproductivo del erizo de mar en vista lateral de la zona aboral. (Walker, 2007)

Estos organismos presentan fecundación externa (Hernández-Marrero & Cabrera-Castro, 2015); los erizos liberan sus gametos en el agua, donde se produce la fertilización para posteriormente llevarse a cabo el desarrollo larvario. Las larvas planctónicas permanecen en la columna de agua hasta dos meses con alta mortalidad por ser alimento de otros organismos, o transportadas fuera de la costa por corrientes y surgencias (Cameron & Schroeter, 1980; Wing et al., 1998); al llegar a 0.4-30 mm son juveniles (Rowley, 1990) y pueden asentarse en áreas rocosas (Figura 6).

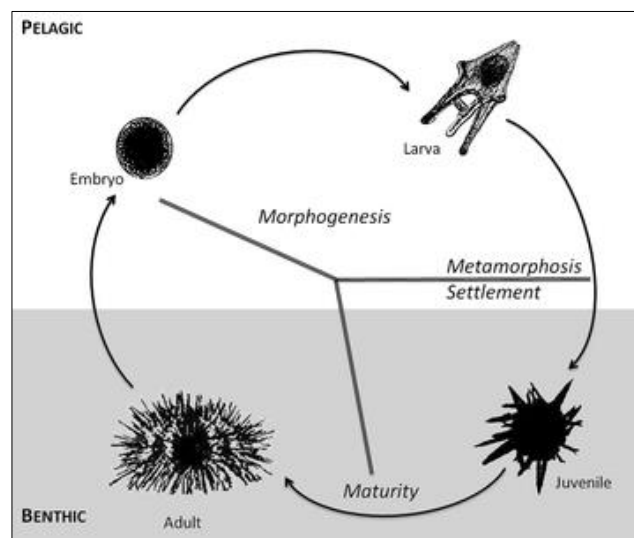


Figura 6. Ciclo de vida Erizo de mar (Dupont et al., 2013)

Los erizos son alimento de estrellas de mar, langosta roja y peces como el vieja (*S. pulcher*) que es el principal depredador de erizos juveniles en el sur de California (Quast, 1968; Feder et al., 1974; Tegner y Dayton, 1981; Cowen, 1983); sin depredadores y en condiciones de baja densidad poblacional o poca presión ambiental los erizos de mar pueden vivir hasta 100 años (Ebert & Southon, 2003).

1.1.2c Hábitat y distribución

Los erizos rojos y morados se encuentran en aguas templadas y frías a lo largo de la costa noroeste desde Alaska hasta Isla Natividad en Baja California Sur, México (Mottet, 1976; Palleiro-Nayar, 2009); ambas especies comparten hábitat similares en el submareal rocoso entre los 3 y 50 metros de profundidad por lo que tienden a competir por espacio y alimento (Tegner, 2001)

La abundancia y distribución de los erizos depende de factores ambientales y biológicas, así como las características del hábitat (Botsford et al., 2004), y la reproducción es sensible a la densidad de individuos maduros (Levitan et al., 1992; Lundquist, 2000). El erizo morado está más adaptado a condiciones de oleaje intenso y aumenta su población cuando se reduce la población de erizo rojo (Kato, 1972).

1.1.2d Captura

En Baja California, los estudios iniciales se centraron en la evaluación de la captura de erizos, así como en el estudio del desarrollo y crecimiento de esta especie (Palleiro-Nayar, 1982). Posteriormente, el estudio del desarrollo gonadal en plantas de procesamiento dio lugar al inicio de medidas y regulaciones sobre la captura de estos organismos (Lelevier & Palleiro-Nayar, 1987).

La pesquería del erizo rojo en Baja California se inició en la década de 1970 y desde sus inicios, se ha consolidado como una de las más importantes en la región debido a la alta demanda internacional, donde el "uni" (gónada de erizo) es un producto altamente valorado, por lo que, ha sido fundamental para las economías locales (Romero-Orozco, 1984).

En los 80, s la pesquería experimentó un gran auge con un aumento en el número de permisos otorgados y la expansión de las áreas de captura hacia el sur de la península. Durante esta época, se establecieron las primeras regulaciones para controlar el esfuerzo pesquero y evitar la sobre explotación (Palleiro-Nayar,

2015), pero fue a inicios de los 90 (1993) que se estableció las reglas para la explotación sostenible del erizo rojo y la veda anual (SAGARPA, 2012).

La gónada de erizo rojo es importante en la industria culinaria y alimentaria, con alta demanda en Japón, Estados Unidos, Canadá, y Europa; su captura por buceo es sostenible (talla mínima caparazón 80 mm) con veda (marzo-junio) cada año, y con regulaciones para garantizar su conservación y la salud del ecosistema marino (NOM 007-PESC1993). El Instituto Nacional de la Pesca y Acuicultura, y el Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera (CRIAP) son responsables de proponer estrategias de su manejo en Baja California a las autoridades Federales.

Por otro lado, en Baja California la captura del erizo morado se efectúa desde 1994, como complemento a la del erizo rojo, aunque su esfuerzo depende de la calidad gonadal y del precio en el mercado (SAGARPA, 2012). Existen 12 permisos para captura de erizo morado y no está regulado lo que permite extraerlo todo el año y de cualquier talla, aunque se concentra sobre tallas de 40-70 mm de julio a noviembre, alcanzando su madurez a los 32 mm de diámetro (Esqueda, 2000).

En las últimas décadas, la captura de erizos ha experimentado fluctuaciones en las capturas debido a factores como cambios en las condiciones oceanográficas, como El Niño y La Niña, y la presión del mercado. En algunas comunidades pesqueras de la región, la gestión de captura de erizo rojo y morado se ha llevado a cabo de manera cooperativa.

1.1.2e Importancia ecológica

Los erizos regulan y controlan el crecimiento de algas marinas evitando un desequilibrio del ecosistema, contribuyen al reciclaje de nutrientes al descomponer las algas que consumen liberando nutrientes para su reuso en la productividad biológica; excavan y remueven sedimentos creando microhábitats y modifican la sedimentación en el submareal, por lo que son considerados como ingenieros del paisaje influyendo en la distribución y colonización de otras especies (Cortés, 2009).

1.2 Justificación

Esta investigación tiene como objetivo determinar la relación entre el pez vieja de California, los erizos de

mar y su respuesta a los cambios ambientales en el ecosistema marino de Ensenada, San Quintín y El Rosario, Baja California. Las dinámicas ecológicas en esta región son altamente complejas debido a la interacción de múltiples factores ambientales y biológicos, como las corrientes oceánicas, las variaciones de temperatura y la disponibilidad de recursos. Comprender cómo las especies clave, como el pez vieja y los erizos de mar, interactúan entre sí y cómo responden a variaciones ambientales como las causadas por eventos climáticos extremos, incluyendo el fenómeno de La Niña, es esencial para evaluar su impacto en la abundancia y distribución de estas especies.

Además, esta investigación aborda la necesidad de entender cómo las actividades humanas, particularmente la pesca, están influyendo en la sostenibilidad de los recursos marinos. La explotación de estos recursos en la región ha experimentado un incremento en las últimas décadas debido a la alta demanda de productos pesqueros. Esto ha generado una presión significativa sobre especies de importancia comercial como el erizo rojo.

El estudio es relevante en el contexto de los cambios climáticos globales, que afectan la estructura y funcionamiento de los ecosistemas marinos. Las variaciones en la temperatura del agua y otros factores alteran los hábitats marinos y la distribución de especies clave.

1.3 Hipótesis

Existe una relación significativa entre la abundancia del pez vieja y los erizos de mar capturados en el ecosistema costero de Ensenada, San Quintín y El Rosario, Baja California, México, lo que podría tener efectos relevantes en la estructura y función del ecosistema marino de la región.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar la variación temporal de las abundancias del pez vieja y del erizo de mar rojo, así como su posible relación con la temperatura del agua de mar y la intensidad de las surgencias en la costa de Ensenada, San Quintín y El Rosario, Baja California.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la abundancia, captura y variación temporal del pez vieja, así como de los erizos de mar rojo y morado, en la zona costera de Ensenada, San Quintín y El Rosario, Baja California.
- Determinar la variación temporal de la temperatura del agua superficial de mar y de la intensidad de las surgencias.
- Determinar la relación entre las abundancias del pez vieja y las abundancias del erizo rojo, así como con la temperatura del mar e intensidad de las surgencias

Capítulo 2. Metodología

2.1 Área de estudio

La bahía de San Quintín (Figura 6) se ubica al noroeste de Baja California, México, a 206 kilómetros al sur de Ensenada, B.C. (latitud $30^{\circ}33'23''$ N, longitud $115^{\circ}56'21''$ W) (Jordán, 1987); clima con influencia marina e inviernos de temperaturas promedio de $15-18^{\circ}\text{C}$, y veranos de temperaturas sin superar los 30°C ; su costa es influenciada por la corriente superficial templada de California, que fluye norte-sur por la costa oeste de Norteamérica, desde Columbia Británica (Canadá) hasta Baja California, México, y junto al sistema de vientos y puntas rocosas originan los procesos de surgencias (Álvarez-Borrego, 2004) (Figura 7).

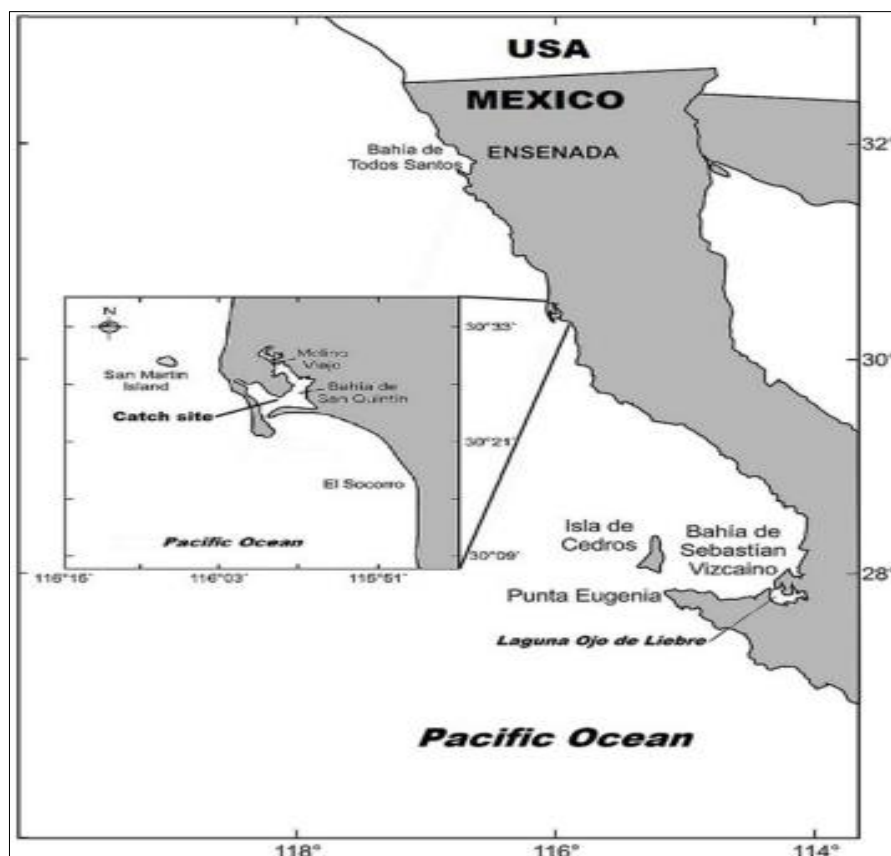


Figura 7. Localización Bahía de San Quintín, Baja California. (Rosales-Casián, 2022).

La costa noroccidental de Baja California es influenciada por el Sistema de la Corriente de California (Figura 8) y por los procesos de surgencia que ocurren durante invierno y primavera (Álvarez-Borrego, 2004; Lynn & Stimpson, 1987; Durazo & Baumgartner, 2002).

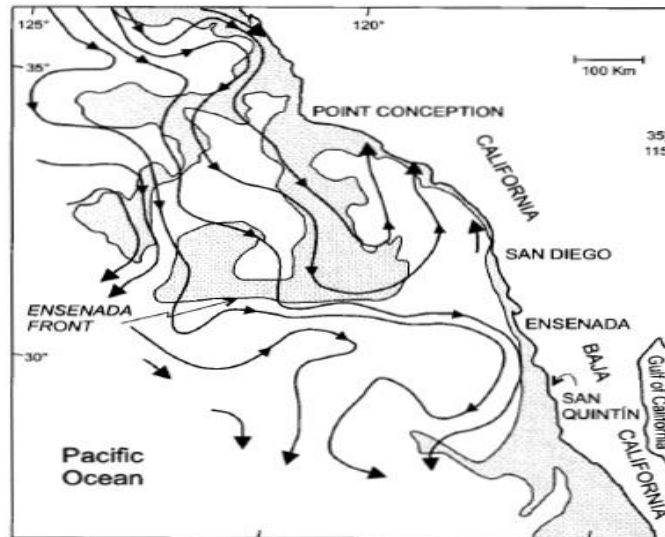


Figura 8. Corrientes Geostróficas (Peláez & McGowan, 1986)

Los vientos estacionales ayudan a que aguas enriquecidas de nutrientes provenientes del fondo suban a la superficie y en combinación con la luz se inicie la productividad primaria del fitoplancton (Parés-Sierra et al., 1997; Casas-Valdez et al., 2003); también se presentan disminuciones importantes en la productividad por eventos intensos El Niño (cálido) como en 1981-1982 y 1997-1998, que generaron un estrato superficial de agua caliente que evitó el flujo de nutrientes a la superficie, disminuyendo la producción de materia orgánica por el fitoplancton y el crecimiento de las algas cafés *Macrocystis pyrifera*.

Por el contrario, durante periodos fríos como en eventos La Niña 1988-1989 y 1999-2001, se ha observado un incremento en la productividad (Casas-Valdez et al., 2003; Hernández de la Torre et al., 2004).

En julio de 2023, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) decretó el comienzo de uno de los eventos El Niño más intenso con temperaturas récord, lo que podría resultar en cambios en el hábitat y distribución de los erizos.

2.2 Condiciones ambientales

2.2.1 Temperatura superficial

Las temperaturas superficiales (TS) del agua de mar se obtuvieron por medio de ecosondas instaladas en las embarcaciones y cuyas mediciones son realizadas por los capitanes durante sus viajes de pesca en la

temporada 2021-2022. Los datos se complementaron con los registros publicados en el sitio web SeaTemperature (www.seatemperature.org), encargado de recopilar datos obtenidos vía satélite por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Las mediciones de temperatura fueron convertidas posteriormente de grados Fahrenheit a centígrados para determinar su variación mensual promedio y su asociación con las abundancias del pez vieja y el erizo de mar (Rosales-Casián y Delgadillo-Hernández, 2010).

2.2.2 Índice de surgencias

La intensidad de las surgencias se determinó mediante el índice de surgencias que utiliza la fuerza de rozamiento y dirección del viento sobre la superficie del mar; en el hemisferio norte, esta acción provoca el desplazamiento del agua hacia fuera de la costa en dirección de 90° a la derecha de la dirección del viento, y como resultado, emergen aguas frías y ricas en nutrientes desde abajo de la termoclina hacia la superficie del mar (NOAA, 2002). Este proceso es llamado transporte de masa de Ekman, se calcula considerando la tensión del viento dividida entre el parámetro de Coriolis, fuerza causada por la rotación de la Tierra que provoca la deflexión en vientos y corrientes marinas; este transporte de agua se presenta entre los 50 y 100 metros de profundidad (Bakun, 1967).

Para esta investigación, el Índice de Surgencia (IS) se obtuvo del cálculo realizado por Pacific Fisheries Environmental Laboratory (PFEL-NOAA) en Pacific Grove, California (<https://oceanview.pfeg.noaa.gov/products/upwelling/dnld>). Se consideraron los valores promedio mensuales de los eventos de surgencia (con 1° de presión aire/océano) en la estación más cercana a San Quintín, B.C. (31°N 119° W) (Arista-Palacios, 2018; Bakun, 1978; Mason & Bakun, 1986).

2.3 Trabajo de gabinete

2.3.1 Pesca y captura

La información estadística, pesquera y acuícola sobre la captura del pez vieja y erizo de mar se solicitó a través del Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales

(INAI) en conjunto con la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). Se obtuvieron los registros de los sitios de captura, los meses de corte, y el peso vivo en kilogramos de las especies de estudio. En función de este análisis, se utilizó la base de datos correspondiente al año 2021 y se filtraron los sitios de captura para Ensenada, San Quintín y el Rosario.

2.3.2 Análisis estadísticos

Para determinar el comportamiento temporal de las abundancias del pez vieja y los erizos de mar, se utilizaron los promedios de sus capturas mensuales registradas por arriba (\pm SE, error estándar) con respecto a los meses del 2021 (Rosales-Casián & González-Camacho, 2003).

Para el análisis de datos de esta investigación se empleó el software Statistica™ 7.0 de StatSoft.

2.3.2a Normalidad

Previo al análisis estadístico de las abundancias (biomasa, kg) del pez vieja y del erizo de mar, por su capacidad para el manejo de datos de cualquier tamaño se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S), para determinar la normalidad de las biomásas que arribaron en los sitios de Ensenada, San Quintín y El Rosario (IBM,2023).

En caso de rechazar el supuesto de normalidad, los datos se transformaron utilizando la función logarítmica $\log_{10}(X+1)$ para volver a utilizar la prueba de K-S (Alonso & Montenegro, 2015), y así decidir la aplicación de análisis paramétrico (ANOVA) o no-paramétrico (Kruskal-Walis) para detectar diferencias entre los promedios de captura mensuales (Zar, 1984) tanto del pez vieja como del erizo de mar.

2.3.2b Homogeneidad de varianzas

Para determinar la homogeneidad de las varianzas de las biomásas capturadas mensualmente tanto del pez vieja como del erizo de mar, se utilizó la prueba de Levene debido a que las biomásas de captura (especies y sitios) son desiguales a lo largo de un periodo de tiempo. Esto es importante porque muchos métodos estadísticos, suponen igualdad de varianzas entre los grupos (Amat, 2016).

2.3.2c Análisis de Varianza (ANOVA) y Kruskal-Wallis

Se llevó a cabo un enfoque mixto para los análisis estadísticos de los datos de biomasa de captura. Para aquellos datos que, si cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA). Por otro lado, para los datos que no cumplieron con estos supuestos, se utilizó el análisis de Kruskal-Wallis. Ambas pruebas permitieron evaluar las diferencias en las medias de la biomasa de captura a lo largo del año, lo que proporcionó una mayor comprensión de la variación temporal en la pesca de pez vieja y la captura del erizo de mar.

Esta estrategia aseguró que el análisis fuera adecuado para las particularidades de cada grupo de datos, según la especie y sitio de captura.

2.3.2d Correlación

Se realizaron análisis de correlación de Pearson y Spearman para identificar la relación entre variables. El coeficiente de correlación de Pearson se llevó a cabo en aquellos casos donde se supuso que la dispersión de los datos es lineal mientras que en aquellos en los que no se cumplió esta suposición se empleó una correlación de Spearman (Martínez, 2009)

En este estudio, se realizaron los siguientes análisis de correlación:

- Temperatura - Biomasa: Se utilizaron ambos coeficientes de correlación, ya que es posible que exista o no una relación lineal o no lineal entre ambas variables.
- Índice de Surgencia - Biomasa: Se empleó el coeficiente de correlación de Spearman, ya que la relación entre el índice de surgencia no suele ser lineal.
- Pesca de pez vieja de California - Captura de erizo rojo: Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, suponiendo una posible relación lineal entre estas dos variables.
- Pesca de pez vieja de California - Captura de erizo morado: Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, también asumiendo una posible relación lineal.

- Captura de erizo rojo - Captura de erizo morado: Se empleó el coeficiente de correlación de Pearson, ya que se supuso una posible relación lineal entre estas dos variables.

Lo anterior se basó en las expectativas sobre la naturaleza de las relaciones entre estas variables.

2.3.2e Índice de estacionalidad

En el presente estudio, tanto el pez vieja como las dos especies de erizos fueron analizadas en sus movimientos temporales de abundancia por el Índice de Movimiento, IM (Herke & Roger, 1984), el cual independientemente de los promedios mensuales por especie, las abundancias las estandariza a porcentajes y puede ofrecer una información diferente al comparar el patrón de las especies.

$$\text{Índice de Estacionalidad} = (\text{Captura promedio mensual} / \text{Promedio mensual más alto}) \times 100$$

2.4 Trabajo en campo

Además de la obtención de los datos oficiales, se llevaron a cabo salidas mensuales a la Bahía de San Quintín durante la temporada de pesca 2023-2024 con el fin de conocer la pesca deportiva del pez vieja de California ejercida en esta región. Su captura es realizada a través de la pesca con el uso de caña y carnada viva o muerta sobre embarcaciones pequeñas conocidas como pangas.

Los monitoreos se realizaron al arribo de las embarcaciones a la costa, donde se midieron y pesaron aquellos organismos que correspondieran al pez vieja.

El poblado de San Quintín destaca como uno de los principales destinos para esta actividad en el estado de Baja California, y en la actualidad, existen seis empresas que ofrecen servicios turístico-náuticos, contando en conjunto con un total de 24 embarcaciones (SEPESCA, 2022) sin contar los turistas particulares que llevan su propia embarcación.

En materia de pesca deportiva, la NOM-003-SAG/PESC-2018 y la NOM-017-PESC-DOF establece respetar los límites de captura, vedas y especies permitidas. Para el caso del pez vieja, este puede ser capturado todo el año, sin embargo, su límite son cinco individuos capturados por pescador (SEMARNAT, 2019).

Capítulo 3. Resultados

3.1 Análisis ambientales

Para los tres sitios de captura durante la temporada de pesca 2021-2022, la temperatura promedio del agua superficial de mar fue de 17.5°C para Ensenada, 16.3°C para San Quintín y 13.5°C para El Rosario. El índice de surgencia promedio fue de 114 m³/s/km para los tres sitios de captura a lo largo del año de estudio (Figura 9).

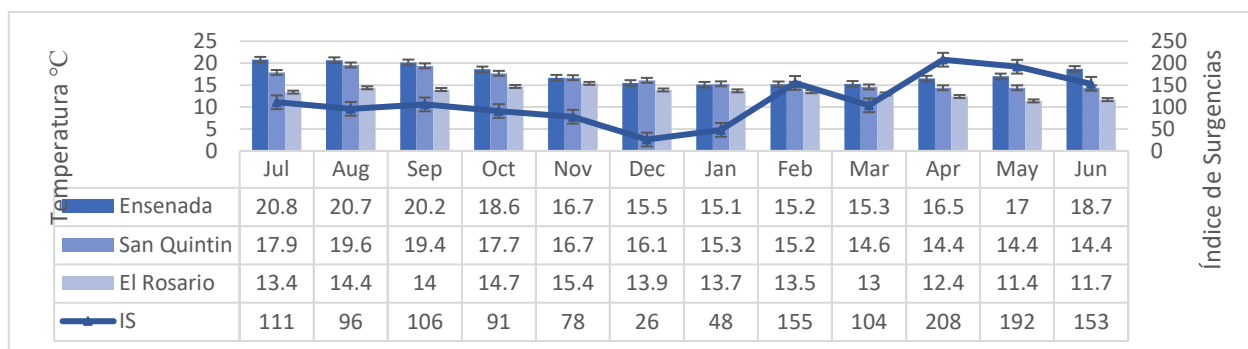


Figura 9. Variación del promedio de temperatura (°C) superficial del agua de mar e índices de surgencia durante el 2021-2022

Se observan variaciones estacionales en la temperatura del agua superficial en los tres sitios de estudio. En Ensenada y San Quintín, la temperatura mensual promedio fue más alta en julio (verano) con 20.8 (± 0.59 °C y 17.9 °C ($\pm .50$ °C SE). Por su parte El Rosario, alcanzó su mayor temperatura en noviembre (otoño) con un promedio de 15.4 °C (± 0.44 °C SE) y temperaturas más bajas en primavera con 12.1 °C (± 0.35 °C SE). El índice de surgencia alcanzó su mayor intensidad de febrero a junio lo que significó que hubo una gran cantidad de agua fría y profunda durante el invierno y la primavera que fue transportada hacia la superficie.

3.2 Pesca del pez vieja de California y captura de erizos rojo y morado

3.2.1 Vieja de California (*Semicossyphus pulcher*)

Se presenta la distribución temporal de la abundancia de pez vieja de California de acuerdo con los registros de arribos en las localidades de Ensenada, San Quintín y El Rosario, Baja California, de julio 2021 a junio 2022.

3.2.1a Ensenada

Para el área de pesca de Ensenada, Baja California (Bahía de Todos Santos), de julio 2021 a junio 2022 se registraron 278 arribos de botes con pez vieja de California y con una biomasa total de 46,383 kg (Tabla 3); la variación de la captura total mensual de pez vieja de California durante el año presentó la menor biomasa (799 kg) en enero 2022 y la mayor captura durante abril 2022 con 14,308 kg.

Durante todos los meses del año hubo registros de pesca del pez vieja, y en diez meses se presentaron arribos de 10 kg y menores y hasta el mínimo de un kg en el mes de abril, mientras que los mayores arribos se registraron desde 200 kg (mayo) y hasta 730 kg en abril 2022 (Tabla 3).

La captura del pez vieja presentó un promedio anual de 166.85 kg por arribo (± 11.4 SE), y la distribución temporal de capturas mensuales presentó incrementos durante agosto y octubre 2021, y con su menor promedio de 75.9 kg (± 23.07 SE) por arribo en septiembre 2021, y su promedio máximo (357.7 kg \pm SE) durante abril 2022 (Tabla 3; Figura 10).

Tabla 3. Número de arribos y captura total (kg), captura máxima y mínima y promedio (+ SE, error estándar) del pez vieja de California para Ensenada, BC temporada de pesca 2021-2022

Mes	Arribos	Captura total (kg)	Captura promedio (kg)	Captura mínima (kg)	Captura máxima (kg)	Error estándar
Julio	14	2,029	144.93	9	560	39.33
Agosto	33	8,045	243.79	10	664	40.87
Septiembre	16	1,215	75.94	4	300	23.07
Octubre	25	5,630	225.20	4	631	41.69
Noviembre	43	4,139	96.26	5	490	17.82
Diciembre	35	3,423	97.80	2	500	21.21
Enero	6	799	133.17	8	320	43.15
Febrero	14	1,960	140.00	32	400	34.45
Marzo	12	1,510	125.83	25	300	25.88
Abril	40	14,308	357.70	1	730	40.52
Mayo	15	1,370	91.33	8	200	17.52
Junio	25	1,955	78.20	4	250	13.69
TOTAL	278	46,383	166.85	1	730	11.40

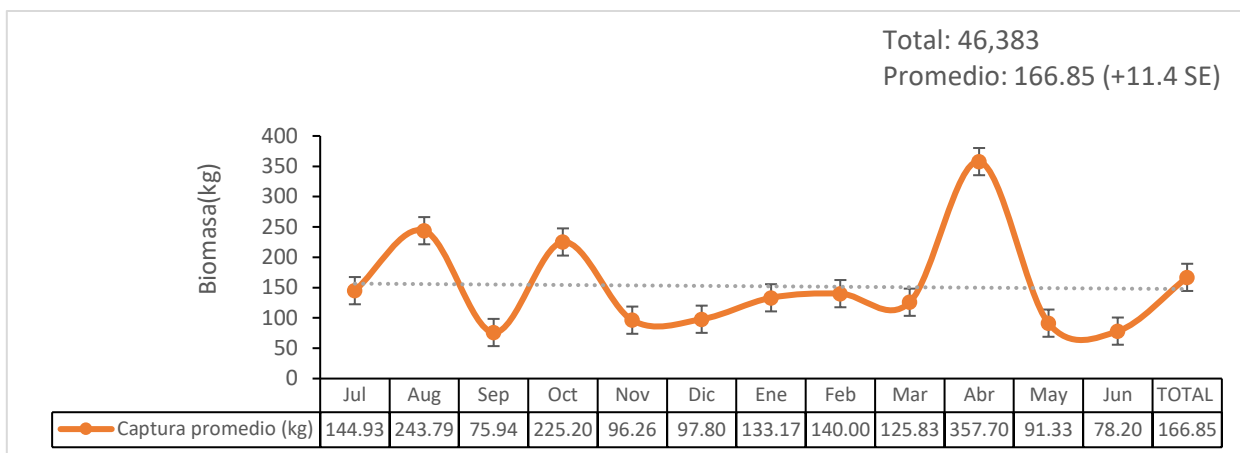


Figura 10. Variación mensual de la captura de pez vieja de California en Ensenada, BC temporada de pesca 2021-2022

3.2.2b San Quintín

En San Quintín se registraron 133 arribos de pez vieja durante el año para un total de 12,082 kg, y con 4 kg como mínimo de arribo en una embarcación y un máximo de 734 kg en otra embarcación, ambas en marzo 2022 (Tabla 4); la menor captura total mensual (146 kg) se registró en abril 2022 y entre noviembre 2001 a marzo 2002 se presentaron las capturas más altas con su máxima captura mensual en febrero 2002 con 2193 kg (Tabla 4).

Tabla 4. Número de arribos y captura total (kg), captura máxima y mínima y promedio (+ SE, error estándar) del pez vieja de California para San Quintín, BC temporada de pesca 2021-2022

Mes	Arribos	Captura total (kg)	Captura promedio (kg)	Captura mínima (kg)	Captura máxima (kg)	Error estándar
Julio	13	770	59.23	5	100	9.18
Agosto	9	234	26.00	7	50	5.29
Septiembre	13	747	57.46	6	150	13.77
Octubre	12	746	62.17	7	150	13.02
Noviembre	15	1,918	127.87	12	230	18.34
Diciembre	15	2,061	137.40	5	460	34.70
Enero	9	1,025	113.89	50	395	36.85
Febrero	13	2,193	168.69	10	430	48.51
Marzo	13	1,373	105.62	4	734	53.18
Abril	3	146	48.67	18	98	24.91
Mayo	11	522	47.45	4	130	11.75
Junio	7	347	49.57	7	130	14.51
TOTAL	133	12,082	90.84	4	734	9.48

En San Quintín la captura del pez vieja se realizó durante todo el año y presentó un promedio anual de 90.84 kg (± 9.48 SE) por arribo (Tabla 4; Figura 10).

La captura promedio mensual por arribo presentó su mínimo (26 kg ± 5.29 SE) en agosto 2021 continuó con incrementos hasta alcanzar su captura promedio mensual máxima de 168.69 kg (± 48.51 SE) durante febrero 2022 y disminuir posteriormente (Tabla 4; Figura 11).

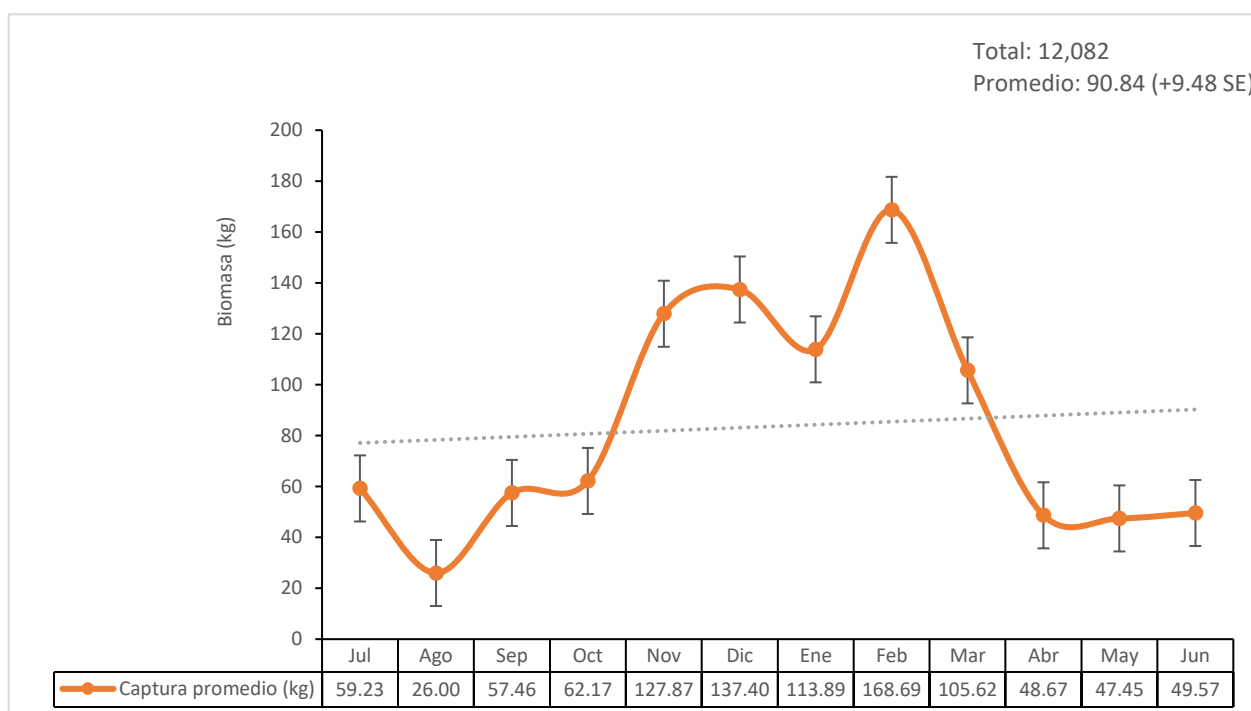


Figura 11. Variación mensual de la captura de pez vieja de California en San Quintín, BC temporada de pesca 2021-2022

3.2.1c El Rosario

Para El Rosario se registraron 217 arribos de pez vieja durante julio 2021 a junio 2022, con una captura total de 40,102 kg y con mínimo de 3 kg capturado en una embarcación (marzo 2022) hasta un máximo de 2,668 kg (julio 2021) en otra embarcación (Tabla 5).

Este sitio presentó un promedio anual de captura por embarcación de 184.8 kg (± 19.34 SE), con su promedio mensual máximo (274.3 kg ± 65.38 SE) durante octubre 2021 y con un promedio mínimo de captura por embarcación de 70.7 kg (± 21.61 SE) durante marzo 2022 (Tabla 5; Figura 12).

Tabla 5. Número de arribos y captura total (kg), captura máxima y mínima y promedio (+ SE, error estándar) del pez vieja de California para El Rosario, BC temporada de pesca 2021-2022

Mes	Arribos	Captura total (kg)	Captura promedio (kg)	Captura mínima (kg)	Captura máxima (kg)	Error estándar
Julio	28	7,193	256.89	13	2684	101.17
Agosto	32	8,364	261.38	4	1823	70.64
Septiembre	19	3,416	179.79	14	604	31.23
Octubre	14	3,840	274.29	54	805	65.38
Noviembre	16	3,909	244.31	66	680	44.93
Diciembre	18	4,097	227.61	15	650	47.72
Enero	4	390	97.50	40	150	30.38
Febrero	6	700	116.67	30	250	29.51
Marzo	29	2,050	70.69	3	500	21.61
Abril	8	627	78.38	9	300	33.89
Mayo	18	2,188	121.56	12	544	32.08
Junio	25	3,328	133.12	9	754	30.55
TOTAL	217	40,102	184.80	3	2684	19.34

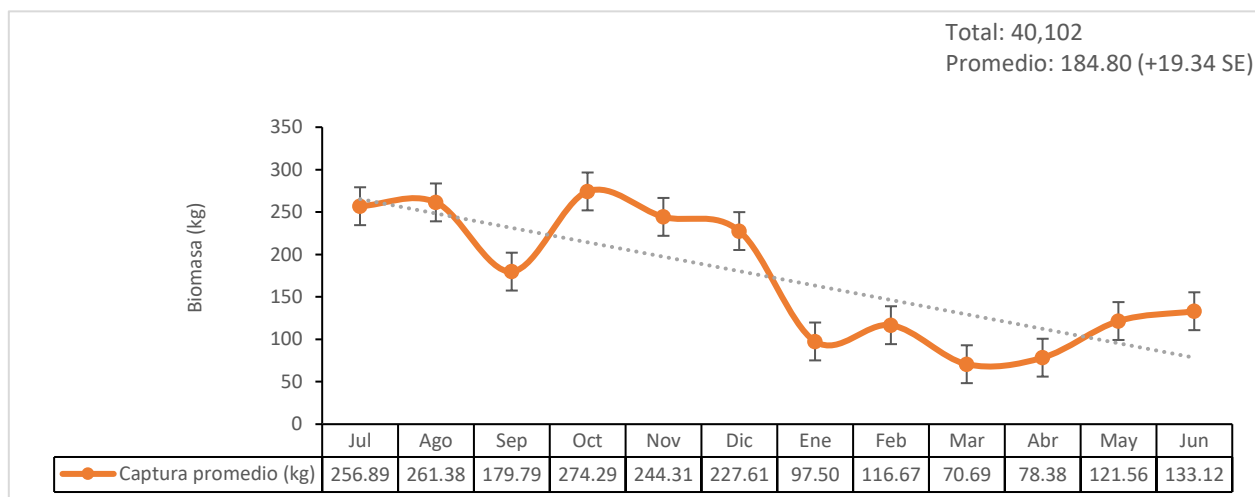


Figura 12. Variación mensual de la captura de pez vieja de California en El Rosario, BC temporada de pesca 2021-2022

3.2.2 Erizo Rojo (*Strongylocentrotus franciscanus*)

Se presenta la abundancia temporal del erizo rojo de acuerdo con los registros de arribos en las localidades de Ensenada, San Quintín y El Rosario, Baja California, de julio 2021 a junio 2022, con sus meses de veda de marzo a junio.

3.2.2a Ensenada

La captura de erizo rojo (julio 2021 a febrero 2022) en Ensenada, B.C. presentó 1,075 arribos, para una captura total de 580,550 kg, con el mayor número de 212 arribos (113,908 kg) durante noviembre 2021, y el menor con 21 arribos (7,360 kg) en enero 2022, aunque la biomasa más alta fue de 119,399 kg por 156 embarcaciones en julio 2021 (Tabla 6). La mayor biomasa por un arribo fue de 3,600 kg (julio 2021), y la menor fue de dos kilogramos en agosto 2021 (Tabla 6).

Tabla 6. Número de arribos y captura total (kg), captura máxima y mínima y promedio (+ SE, error estándar) del erizo rojo para Ensenada, BC temporada de pesca 2021-2022

Mes	Arribos	Captura total (kg)	Captura promedio (kg)	Captura mínima (kg)	Captura máxima (kg)	Error estándar
Julio	156	119,399	765.38	4	3600	77.37
Agosto	149	80,974	543.45	2	2200	47.72
Septiembre	166	83,751	504.52	6	3000	35.87
Octubre	130	60,576	465.97	3	2674	37.74
Noviembre	212	113,908	537.30	5	3120	32.67
Diciembre	178	89,466	502.62	5	3400	38.26
Enero	21	7,360	350.48	70	1500	65.45
Febrero	59	25,116	425.69	5	1500	61.45
Marzo						
Abril				VEDA		
Mayo						
Junio						
TOTAL	1075	580,550	540.05	2	3600	18.01

La captura promedio anual (kg por embarcación) de erizo rojo (julio 2021 a febrero 2022) en Ensenada, B.C. fue de 540 kg por embarcación (+ 18.01 SE), y la captura promedio más alta fue de 765.4 kg (\pm 77.37 SE) por embarcación durante julio 2021, disminuyendo a lo largo de la temporada hasta el promedio más bajo (350.5 kg por embarcación (\pm 65.45 SE) durante enero 2022 (Tabla 6; Figura 13).

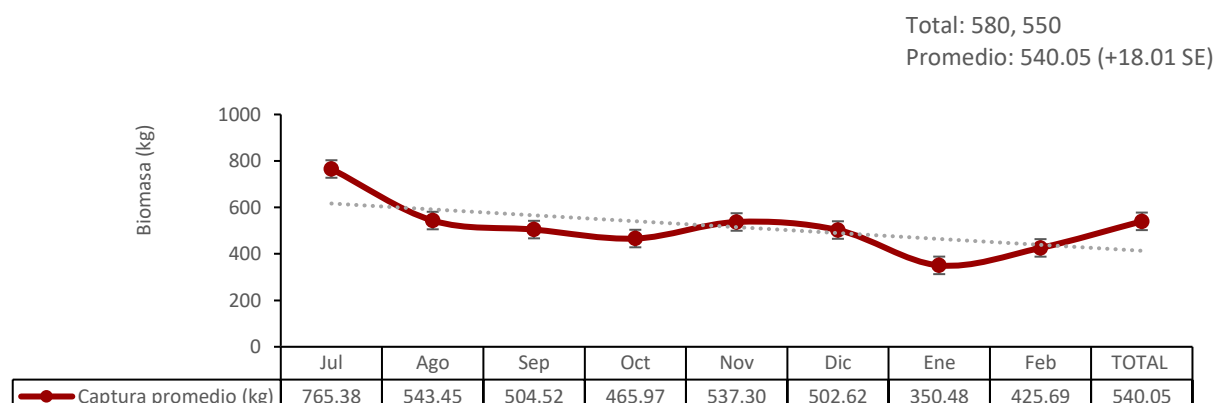


Figura 13. Variación mensual de la captura de erizo rojo en Ensenada, BC temporada de pesca 2021-2022

3.2.2b San Quintín

Para San Quintín, B.C., la captura total anual de erizo rojo fue de 45,552 kg registrada en 65 arribos, con la mayor captura (12,177 kg) ocurrida en agosto de 2021 y la menor (345 kg) en enero de 2022 (Tabla 7). El promedio de captura anual de erizo rojo fue de 700.8 kg por embarcación (± 65.5 SE). La captura promedio más alta por embarcación fue de 999.1 kg durante noviembre de 2021, disminuyendo hasta el promedio más bajo de 345 kg por embarcación (\pm SE) en enero de 2022 (Tabla 7; Figura 14).

Tabla 7. Número de arribos y captura total (kg), captura máxima y mínima y promedio (+ SE, error estándar) del erizo rojo para San Quintín, BC temporada de pesca 2021-2022

Mes	Arribos	Captura total (kg)	Captura promedio (kg)	Captura mínima (kg)	Captura máxima (kg)	Error estándar
Julio	11	6,930	630.00	70	980	73.87
Agosto	16	12,177	761.06	70	2630	169.89
Septiembre	12	9,390	782.50	175	2385	190.19
Octubre	6	2,940	490.00	245	700	64.54
Noviembre	11	10,990	999.09	490	1820	127.28
Diciembre	3	2,170	723.33	560	980	129.91
Enero	1	345	345.00	345	345	0.00
Febrero	1	610	610.00	610	610	0.00
Marzo						
Abril						
Mayo						
Junio						
TOTAL	65	45,552	700.80	70	2630	65.50

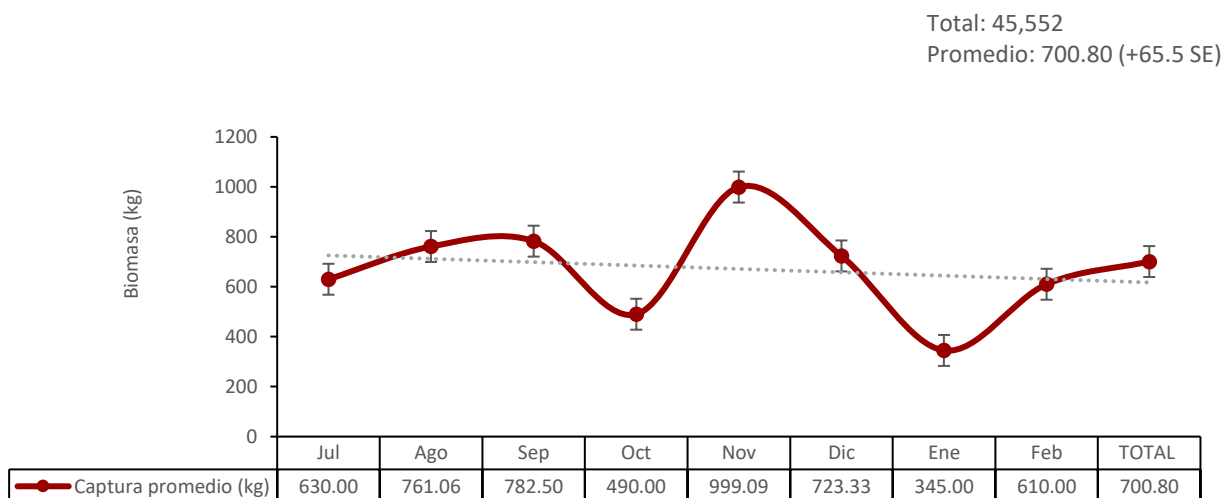


Figura 14. Variación mensual de la captura de erizo rojo en San Quintín, BC temporada de pesca 2021-2022

3.2.2c El Rosario

En este sitio se registraron 388 arribos para una captura total de erizo rojo de 509,756 kg durante julio 2021 a febrero 2022, con el mayor número de 80 arribos (115,327 kg) durante julio 2021 y el menor de cinco arribos (4,598 kg) durante enero 2022, a su vez la menor captura por una embarcación fue de 70 kg tanto en agosto 2021 como en febrero 2022, mientras que la captura máxima por una embarcación fue de 7,204 kg en diciembre 2021 (Tabla 8).

Tabla 8. Número de arribos y captura total (kg), captura máxima y mínima y promedio (+ SE, error estándar) del erizo rojo para El Rosario, BC temporada de pesca 2021-2022

Mes	Arribos	Captura total (kg)	Captura promedio (kg)	Captura mínima (kg)	Captura máxima (kg)	Error estándar
Julio	80	115,327	1441.59	90	6745	184.63
Agosto	74	79,644	1076.27	70	4245	131.99
Septiembre	49	69,501	1418.39	100	6300	189.37
Octubre	35	43,901	1254.31	266	4543	222.36
Noviembre	69	98,133	1422.22	198	6615	177.33
Diciembre	58	80,398	1386.17	102	7204	193.96
Enero	5	4,598	919.60	310	2173	324.99
Febrero	14	18,254	1303.86	70	4347	366.57
Marzo						
Abril						
Mayo						
Junio						
TOTAL	388	509,756	1313.80	70	7204	71.43

El promedio de captura anual de erizo rojo fue de 1,313.8 kg por embarcación (+ 71.43 SE), y la captura promedio más alta fue de 1,441.6 kg (+ 184.63 SE) por embarcación durante julio 2021, con el promedio más bajo (919.6 kg por embarcación + 324.99 SE) durante enero 2022 (Tabla 8; Figura 15).

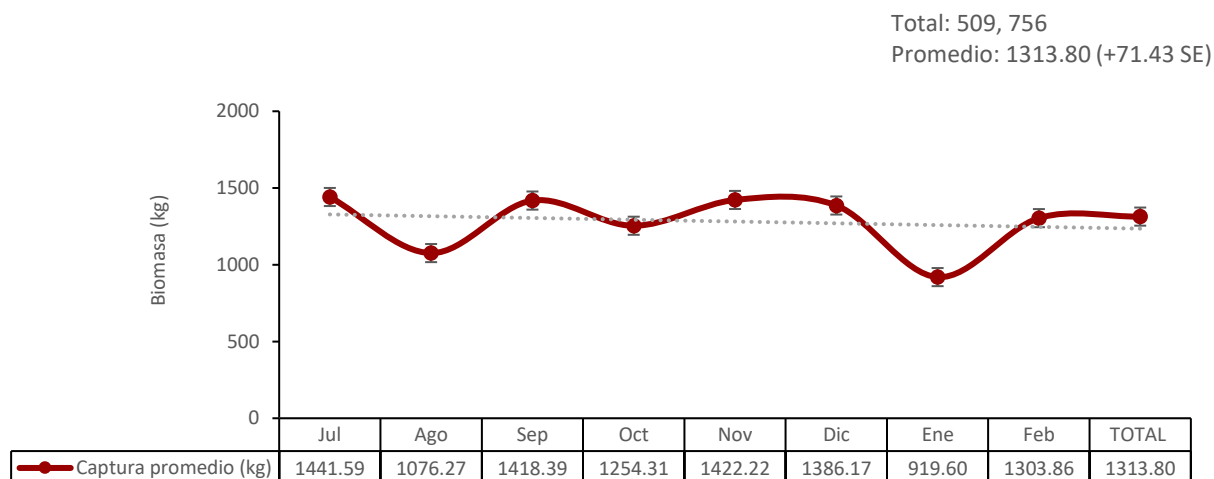


Figura 15. Variación mensual de la captura de erizo rojo en El Rosario, BC temporada de pesca 2021-2022

3.2.3 Erizo Morado (*Strongylocentrotus purpuratus*)

Se presenta las variaciones de la captura del erizo morado a lo largo de todo el año de acuerdo con los arribos registrados en Ensenada, San Quintín y El Rosario, B.C. Esta especie no cuenta con periodo de veda por su baja importancia comercial, su función puede ser relevante en el ecosistema costero y su interacción con el pez vieja de California.

3.2.3a Ensenada

En Ensenada y de julio 2021 a junio 2022, se registraron 642 arribos para un total de 435,812 kg, con el mayor número de 134 arribos (102,403 kg) en noviembre 2021 y el menor con dos arribos y 800 kg en abril 2022 (Tabla 9); la captura mínima por arribo fue de 15 kg en noviembre 2021 y la máxima en 5400 kg en julio 2021, y durante mayo 2022 no se registró captura de erizo morado (Tabla 9).

El promedio de captura anual fue de 678.8 kg por arribo, con el promedio máximo de 861.2 kg (+ 90.3 SE) por arribo durante agosto 2021, y el menor promedio de 219.9 kg (+ 34.42 SE) por arribo en enero 2022 (Tabla 9; Figura 16).

Tabla 9. Número de arribos y captura total (kg), captura máxima y mínima y promedio (+ SE, error estándar) del erizo morado para Ensenada, BC temporada de pesca 2021-2022

Mes	Arribos	Captura total (kg)	Captura promedio (kg)	Captura mínima (kg)	Captura máxima (kg)	Error estándar
Julio	89	62,948	707.28	40	5400	75.62
Agosto	104	89,569	861.24	34	4550	90.30
Septiembre	82	51,966	633.73	50	3600	74.43
Octubre	94	61,185	650.90	90	3600	66.57
Noviembre	134	102,403	764.20	15	3600	59.57
Diciembre	83	51,373	618.95	25	1929	50.16
Enero	17	3,739	219.94	30	600	34.42
Febrero	17	5,889	346.41	60	2079	111.94
Marzo	3	1000	333.33	200	600	133.33
Abril	2	800	400	300	500	100
Mayo	1	-	-	-	-	-
Junio	16	4940	308.75	60	650	34.33
TOTAL	642	435,812	678.83	0	5400	27.26

Total: 435,812
Promedio: 678.83 (+56.3 SE)

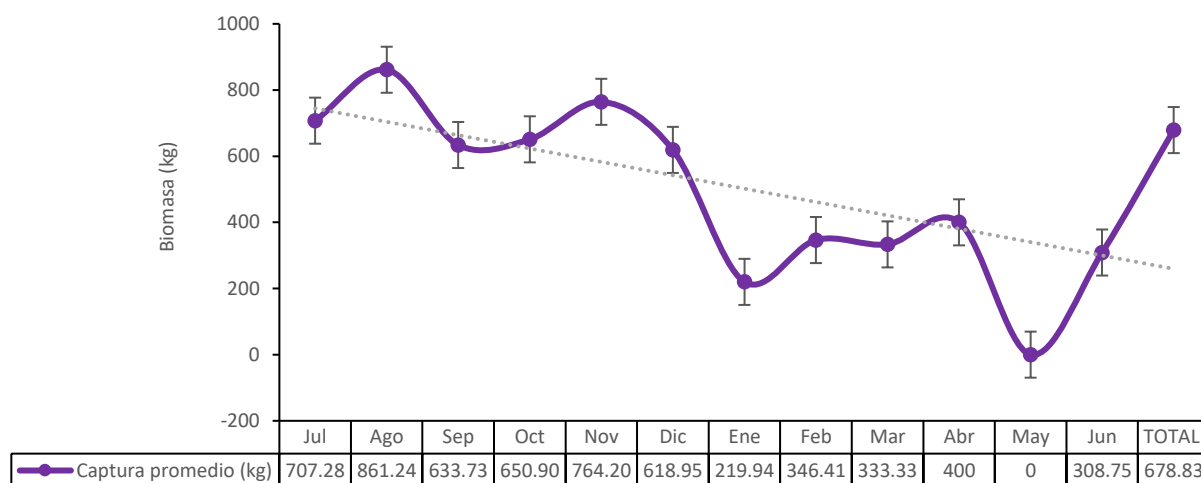


Figura 16. Variación mensual de la captura de erizo morado en Ensenada, BC temporada de pesca 2021-2022

3.2.3b San Quintín

Para San Quintín solo se registraron capturas de erizo morado durante diciembre y enero 2021 con cinco arribos y 5,180 kg totales, con un promedio de 1,106.88 kg por arribo (Tabla 10, Figura 17).

Tabla 10. Número de arribos y captura total (kg), captura máxima y mínima y promedio (+ SE, error estándar) del erizo morado para San Quintín, BC temporada de pesca 2021-2022

Mes	Arribos	Captura total (kg)	Captura promedio (kg)	Captura mínima (kg)	Captura máxima (kg)	Error estándar
Julio	1	-	-	-	-	-
Agosto	1	-	-	-	-	-
Septiembre	1	-	-	-	-	-
Octubre	1	-	-	-	-	-
Noviembre	1	-	-	-	-	-
Diciembre	4	3,955	988.75	385	1260	50.16
Enero	1	1,225	1225	1225	1225	34.42
Febrero	1	-	-	-	-	-
Marzo	1	-	-	-	-	-
Abril	1	-	-	-	-	-
Mayo	1	-	-	-	-	-
Junio	1	-	-	-	-	-
TOTAL	15	5,180	1106.88	385	1260	38.26

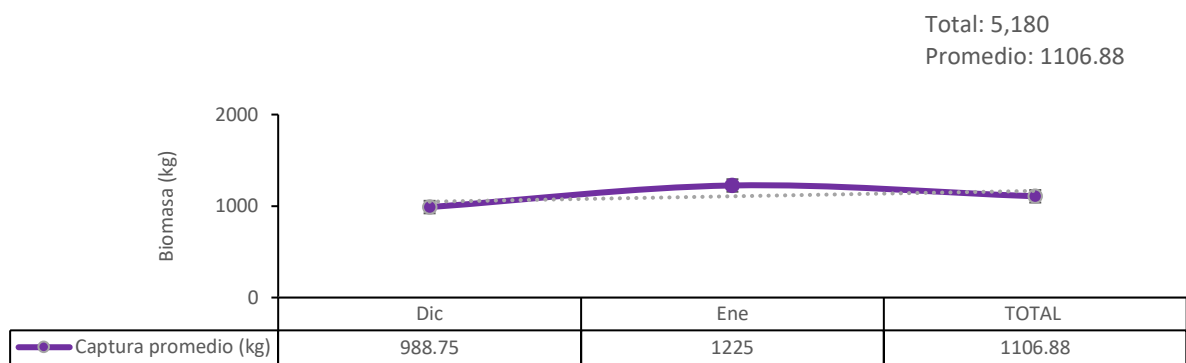


Figura 17. Variación mensual de la captura de erizo morado en San Quintín, BC temporada de pesca 2021-2022

3.2.3b El Rosario

Para el Rosario se registraron siete meses donde sí hubo captura de erizo morado, las mayores capturas fueron julio 2021 con seis arribos (5,616 kg), y tanto agosto (3,327 kg) como noviembre con tres arribos (3,757 kg) cada uno (Tabla 11). Los meses de septiembre, diciembre, enero, marzo y abril no registraron actividad de captura, mientras que, en los meses de octubre 2021, y febrero, mayo y junio 2022 se capturaron 298 kg, 620 kg, 1,000 kg y 690 kg, respectivamente (Tabla 11).

Tabla 11. Número de arribos y captura total (kg), captura máxima y mínima y promedio (+ SE, error estándar) del erizo morado para El Rosario, BC temporada de pesca 2021-2022

Mes	Arribos	Captura total (kg)	Captura promedio (kg)	Captura mínima (kg)	Captura máxima (kg)	Error estándar
Julio	6	5,616	936	436	2186	30.87
Agosto	3	3,327	1109	795	1720	52.08
Septiembre	1	-	-	-	-	-
Octubre	1	298	298	298	298	66.70
Noviembre	3	3,757	1252	1012	1456	59.57
Diciembre	1	-	-	-	-	0.00
Enero	1	-	-	-	-	0.00
Febrero	1	620	620	620	620	111.94
Marzo	1	-	-	-	-	-
Abril	1	-	-	-	-	-
Mayo	1	1,000	1000	1000	1000	-
Junio	1	690	690	690	690	34.33
TOTAL	21	15,308	956.80	0	2186	77.60

La captura promedio anual por arribo de erizo morado fue de 956.8 kg (+ 77.60 SE), con el promedio por arribo más alto de 1252 (+ 59.57 SE) durante noviembre 2021, y con varios meses con el registro de un solo arribo (Tabla 11, Figura 18).

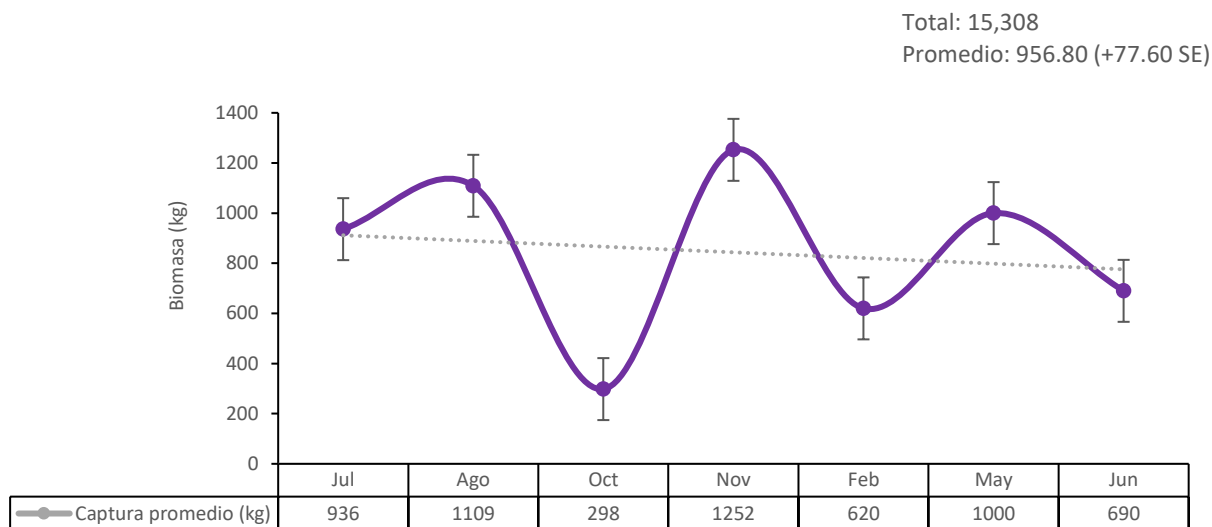


Figura 18. Variación mensual de la captura de erizo morado en El Rosario, BC temporada de pesca 2021-2022

3.3 Análisis estadísticos

3.3.1 Normalidad

Para las biomásas en los arribos por localidad del pez vieja de California y los erizos rojo y morado, la prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov determinó que en la mayoría no fue aceptada la normalidad de los datos (K-S, $p < 0.05$), excepto la biomasa del erizo morado en la localidad de El Rosario (K-S, $p > 0.20$) que fue aceptada (Tabla 12).

3.3.2 Homogeneidad de varianzas

La prueba de Levene mostró que las biomásas del pez vieja en las tres localidades no presentaron homogeneidad de varianzas ($F > 2.85$, $p < 0.05$), y tanto las biomásas de los erizos rojo y morado se aceptó la homogeneidad de varianzas ($p > 0.16$) en las localidades de San Quintín y El Rosario (Tabla 12).

Tabla 12. Resultados prueba de normalidad de Kolmogórov-Smirnov y prueba de homogeneidad de varianzas de Levene

		Kolmogórov-Smirnov		Levene	
Especie	Sitio	Max D	K-S p	F	P
Vieja de California	Ensenada	0.21	p<0.01	16.09	0.0016
	San Quintín	0.23	p<0.01	4.61	0.007
	El Rosario	0.26	p<0.01	2.85	0.0016
Erizo rojo	Ensenada	0.2	p<0.01	14.22	0.001
	San Quintín	0.21	p<0.01	1.18	0.32
	El Rosario	0.22	p<0.01	1.43	0.16
Erizo morado	Ensenada	0.23	p<0.01	4.38	0.0002
	San Quintín	0.4	p<0.01	0.48	0.84
	El Rosario	0.12	p>0.20	0.6	0.78

3.3.3 Análisis de Varianza (ANOVA) y Kruskal-Wallis

En el presente estudio, la prueba de ANOVA se aplicó exclusivamente a las biomásas mensuales que presentaron una distribución normal y una homogeneidad de varianzas, es decir, a la biomasa de erizo rojo y morado capturados en San Quintín y El Rosario. El análisis de varianza no detectó diferencias significativas en las biomásas promedio mensuales de los erizos rojos y morados con respecto al tiempo (ANOVA, $p > 0.31$) en las localidades de San Quintín y El Rosario ((Tabla 13).

Tabla 13. Resultados Análisis de varianza ANOVA y prueba no paramétrica Kruskal-Wallis

		ANOVA	
Especie	Sitio	P	
Erizo rojo	San Quintín	0.31	
	El Rosario	0.75	
Erizo morado	San Quintín	0.32	
	El Rosario	0.32	
		Kruskal-Wallis	
		H	P
Vieja de California	Ensenada	48.35	0.001
	San Quintín	26.14	0.006
	El Rosario	42.08	0.001
Erizo rojo	Ensenada	25.98	0.006
Erizo morado	Ensenada	56.23	0.001

La prueba de Kruskal-Wallis se aplicó a las biomásas del pez vieja de California en los tres sitios de pesca, al no cumplir con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, así como a las biomásas de erizo rojo y morado capturados en Ensenada. Los promedios mensuales para el pez vieja de California en Ensenada, San Quintín y El Rosario, así como para erizo morado en Ensenada, presentaron diferencias significativas en los promedios mensuales (K-W, $P < 0.05$) con respecto al tiempo. La captura de erizo rojo en Ensenada no presentó diferencias significativas (K-W, $p > 0.001$) con el tiempo (Tabla 13).

3.3.4 Correlaciones

3.3.4a Biomasa - Temperatura

- **Ensenada**

La biomasa del pez vieja de California no mostró una correlación con respecto a la temperatura superficial del agua de mar ($r = 0.08$, $p > 0.05$)

La biomasa del erizo rojo mostró un coeficiente de correlación media con la temperatura superficial del agua de mar ($r = 0.56$, $p = 0.14$), sin embargo, la asociación no fue significativa.

La relación de la biomasa del erizo morado con la temperatura superficial el agua de mar presentó una correlación de $r = 0.53$ sin embargo quedó ligeramente fuera de la significativa ($p = 0.07$).

- **San Quintín**

En San Quintín, la biomasa del pez vieja de California y la temperatura superficial el agua de mar presentó una correlación negativa y estadísticamente no significativa ($r = -0.13$, $p > 0.05$).

Con respecto a la biomasa del erizo rojo y la temperatura del agua presentó un coeficiente de correlación alto, positivo y significativo ($r = 0.78$, $p < 0.05$).

La biomasa del erizo morado presentó una correlación baja, negativa y no significativa con la temperatura superficial del agua de mar ($r = 0.08$, $p > 0.05$).

- **El Rosario**

En la localidad de El Rosario, la relación entre la biomasa del pez vieja de California y la temperatura superficial del agua de mar presentó una correlación baja y no significativa ($r= 0.36$, $p >0.05$).

Las biomásas del erizo rojo y del erizo morado con respecto a la temperatura superficial del agua de mar presentaron correlaciones bajas ($r=0.26$ y $r=0.29$, respectivamente, $p>0.05$).

3.3.4b Biomasa – Índice de surgencias

- **Ensenada**

La biomasa del pez vieja de California mostró una correlación baja y no significativa con respecto a los valores de intensidad de las surgencias ($r=0.34$, $p >0.05$) durante 2021-2022.

Las biomásas del erizo rojo y los valores de surgencias presentaron una correlación baja, negativa y no significativa ($r=-0.06$ y $p >0.05$), al igual que la relación del I.S con el erizo morado ($p =0.08$).

- **San Quintín**

Para la biomasa del pez Vieja de California y los valores de surgencias, se obtuvo un coeficiente de correlación negativo y no significativo ($r= -0.47$, $p>0.05$).

Las biomásas del erizo rojo mostraron un coeficiente de correlación bajo y no significativo ($r= 0.13$, $p =0.75$) con los valores de intensidad de las surgencias.

Con respecto a las biomásas del erizo morado y los valores de intensidad de las surgencias se encontró una correlación media, positiva y significativa ($r=-0.61$, $p<0.05$).

- **El Rosario**

Para las biomásas de arriba en la localidad de El Rosario respecto a los valores de surgencias, se presentaron correlaciones bajas y negativas para el pez vieja de California ($r = -0.30$), para el erizo rojo ($r = -0.06$), y para el erizo morado ($r = -0.007$), y en ninguno de los casos fueron significativas ($p >0.05$).

3.3.4c Relación de las biomosas

- **Vieja de California-Erizo rojo:** La relación entre la biomasa del pez vieja de California y la biomasa del erizo rojo en la localidad de Ensenada presentó una correlación baja, aunque significativa ($r=0.13$, $p<0.05$). En San Quintín, la relación entre la biomasa del pez vieja de California y la biomasa del erizo rojo presentó una correlación baja y no significativa ($r=-0.04$, $p >0.05$), similar a la correlación en la localidad de El Rosario ($r = 0.03$, $p >0.05$).
- **Vieja de California-Erizo morado:** Las relaciones entre las biomosas del pez vieja de California y la biomasa del erizo morado fueron bajas y no significativas en los arribos de las localidades de Ensenada ($r =0.09$, $p > 0.05$), San Quintín ($r =0.09$, $p >0.05$) y El Rosario ($r =0.02$, $p >0.05$).
- **Erizo rojo-Erizo morado:** Los valores de los coeficientes de correlación entre las biomosas del erizo rojo y del erizo morado fueron bajas y no significativas para los arribos en las localidades de Ensenada ($r= 0.02$, $p >0.05$), San Quintín ($r=-0.30$, $p >0.05$), y El Rosario ($r=-0.24$, $p >0.05$).

3.3.5 Índice de estacionalidad (IE)

Se pudieron observar patrones estacionales claros en la captura de cada especie a lo largo del año en los diferentes sitios de captura. La variabilidad en los porcentajes de I.E entre meses reflejó la naturaleza estacional de la actividad durante la temporada de captura 2021-2022, lo cual es de importancia para la gestión y planificación de recursos pesqueros (Tabla 14).

Tabla 14. Índice de estacionalidad temporada de pesca 2021-2022

Mes	Ensenada			San Quintín			El Rosario		
	IE (%)	IE(%)	IE(%)	IE (%)	IE(%)	IE(%)	IE (%)	IE(%)	IE(%)
Jul	40.52	100	82.12	35.11	63.06	-	93.66	100	74.76
Ago	68.15	71.00	100	15.41	76.18	-	95.29	74.66	89
Sep	21.23	65.92	73.58	34.06	78.32	-	65.55	98.39	-
Oct	62.96	60.88	75.58	36.85	49.04	-	100	87.01	23.80
Nov	26.91	70.20	88.73	75.80	100	-	89.07	98.66	100
Dic	27.34	65.67	71.87	81.45	72.40	80.71	82.98	96.16	-
Ene	37.23	45.79	25.54	67.51	34.53	100	35.55	63.79	-
Feb	39.14	55.62	40.22	100	61.06	-	42.54	90.45	49.52
Mar	35.18	-	38.70	62.61	-	-	25.77	-	-
Abr	100	-	46.44	28.85	-	-	28.58	-	-
May	25.53	-	0	28.13	-	-	44.32	-	80
Jun	21.86	-	35.85	29.39	-	-	48.53	-	55.11

3.3.5a Ensenada

La captura promedio de Vieja de California mostró variaciones estacionales con picos observados en los meses de agosto y septiembre, lo que representó el 68.15% de la máxima captura registrada para esta especie durante la temporada 2021-2022 indicando una estacionalidad más marcada en esos periodos (Figura 19).

El erizo rojo mostró un patrón estacional notable con un pico máximo en julio, correspondiendo a la temporada más activa con el 100% de la máxima captura registrada seguido de fluctuaciones estacionales menores en los meses siguientes. Diciembre y enero mostrando un IE más bajo, reflejando una disminución en la actividad de captura de esta especie durante los meses de invierno. (Figura 19).

El erizo morado presentó también un alto nivel de estacionalidad, con un pico máximo en agosto donde la captura promedio alcanza el 100% de su máximo registrado destacando este mes como el período de máxima actividad de captura para el Erizo Morado, seguido de una disminución gradual en los meses siguientes. Mayo no mostró capturas indicando un IE extremadamente bajo para esta especie durante este mes (Figura 19).

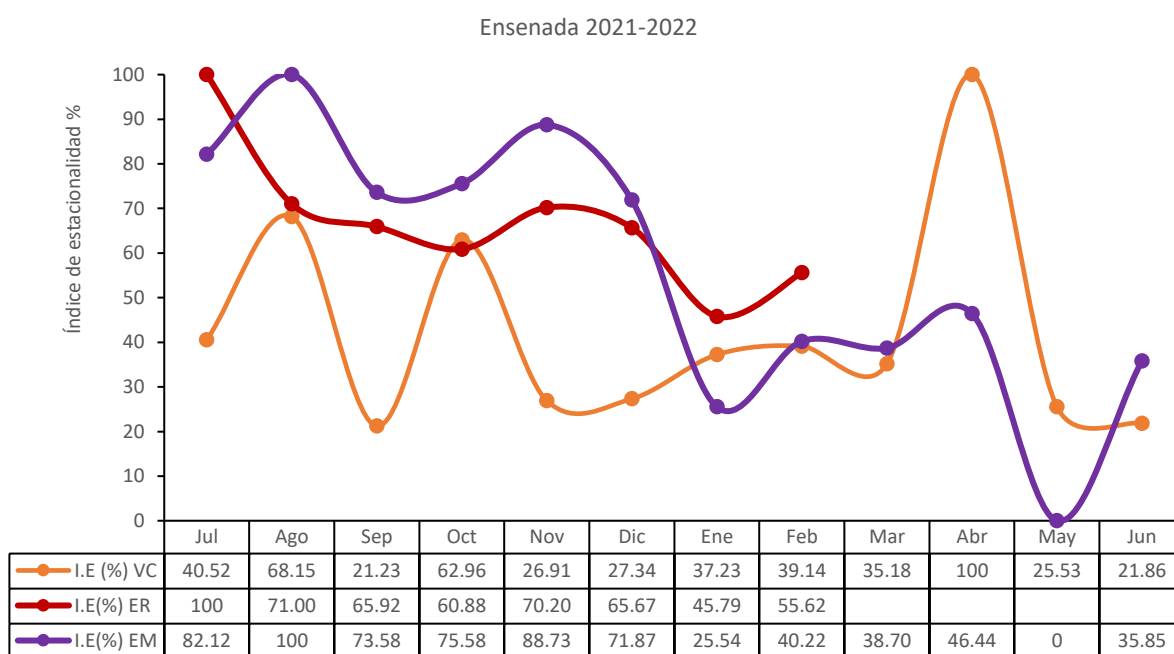


Figura 19. Índice de estacionalidad de vieja de California, erizo rojo y erizo morado Ensenada, B.C temporada de pesca 2021-2022

3.3.5b San Quintín

Los valores del Índice de Estacionalidad para San Quintín revelaron patrones variables en la captura de las especies analizadas. Sin embargo, el pez vieja de California mostró un patrón menos marcado en comparación con los erizos, que presentaron picos de noviembre a febrero con índices de estacionalidad más moderados en general. Para el erizo rojo, los meses de mayor estacionalidad se reflejaron durante el primer semestre del año, mientras que para el erizo morado no hubo variabilidad significativa, ya que solo se capturó en diciembre y enero (Figura 20).

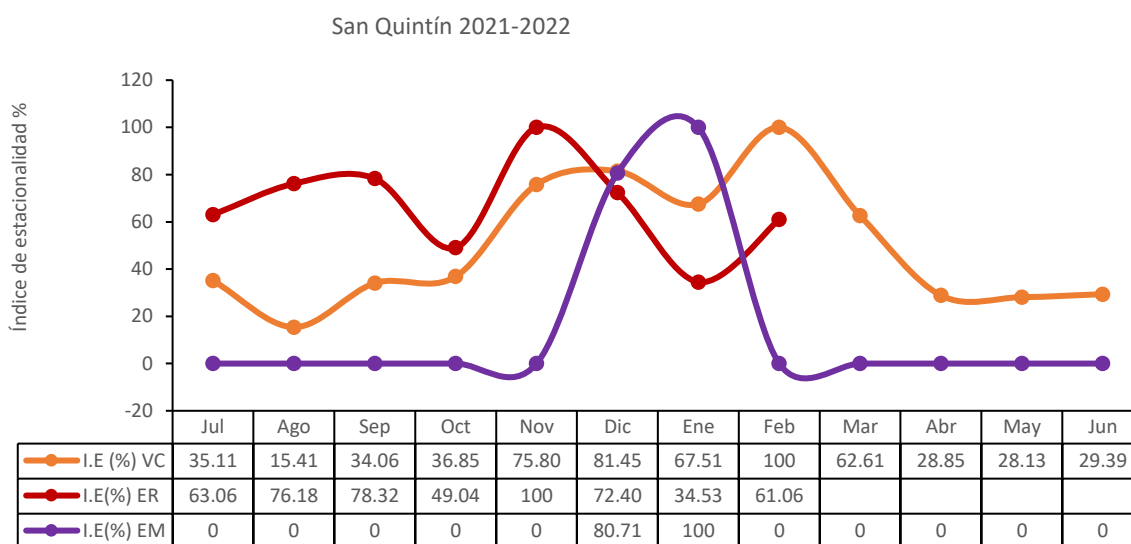


Figura 20. Índice de estacionalidad de vieja de California, erizo rojo y erizo morado San Quintín, B.C temporada de pesca 2021-2022

3.3.5c El Rosario

Al inicio de la temporada en julio, el pez vieja de California mostró altos valores de IE (35.11%). Sin embargo, su estacionalidad no es muy marcada, obteniendo valores de IE dispersos a lo largo de toda la temporada: agosto (15.41%), septiembre (34.06%), octubre (36.85%), noviembre (75.80%), diciembre (81.45%), enero (67.51%), febrero (100%), marzo (62.61%), abril (28.85%), mayo (28.13%) y junio (29.39%).

El erizo Rojo presentó una estacionalidad marcada en todo el año con un pico máximo al término del periodo permitido de captura(febrero) alcanzando un IE del 100%. Esto indica que es el mes de máxima actividad de captura para esta especie en esta región. Por otro lado, el erizo morado arrojó un patrón de

variabilidad con altos valores de IE en agosto y mayo lo que sugiere dos períodos de captura alta, aunque con picos menos definidos que la otra especie de erizo (Figura 21).

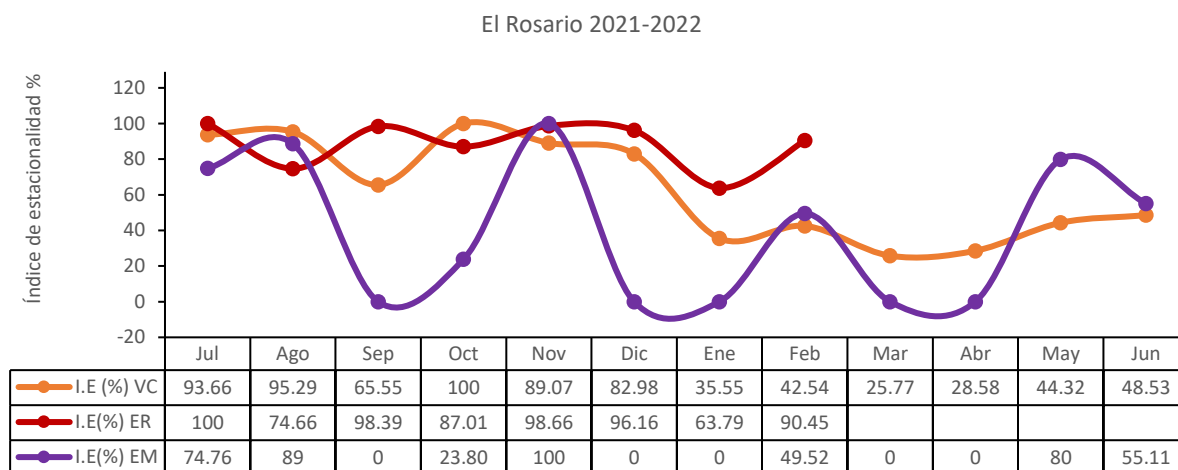


Figura 21. Índice de estacionalidad de vieja de California, erizo rojo y erizo morado El Rosario, B.C temporada de pesca 2021-2022

3.3.6 Correlaciones respecto a los valores de IE

Para la región de Ensenada no hay evidencia de una correlación significativa entre el pez vieja de California y ambas especies de erizo ($r=0.28$ y $R=0.19$; $p>0.05$). Sin embargo, existe una correlación moderadamente positiva y fuerte entre el índice de estacionalidad de las dos especies de erizo ($r=0.66$) lo que sugiere una posible asociación entre las capturas de estas dos especies, aunque el valor de significancia ($p= 0.071$) está cerca del umbral de significancia estadística, no alcanza un nivel convencionalmente aceptado.

En San Quintín la correlación entre vieja de California y erizo rojo es muy baja ($r = -0.096$), lo que indicó una correlación prácticamente inexistente mientras que su correlación ($r = 0.42$) con el erizo morado es positiva, mostrando una relación moderada entre las capturas de estas dos especies, sin embargo, $p > 0,05$ por lo que la correlación no es significativa.

En El Rosario la correlación entre la biomasa del pez vieja de California y la del erizo rojo es moderada y positiva ($r = 0.40$), mientras que, la correlación del pez vieja de California con el erizo morado fue negativa y débil. En ambos casos, el valor de $p (>0.05)$ indica que estas correlaciones no son estadísticamente significativas. Además, la correlación entre la biomasa del erizo rojo y la del erizo morado es cercana a cero ($r = -0.04$), lo que sugiere que prácticamente no existe una relación entre estas dos especies.

Capítulo 4. Discusión

La región costera de San Quintín, Baja California, México cuenta con actividades muy importantes que sustentan el desarrollo económico de las comunidades locales como la pesca deportiva (Rodríguez-Santiago y Rosales-Casián, 2008), la pesca comercial costera (Rosales-Casián & González-Camacho, 2003), así como la acuicultura de ostión dentro de la bahía que se beneficia por la alta productividad primaria derivada de surgencias costeras que aportan nutrientes para el fitoplancton (Álvarez-Borrego, 2004).

El pez vieja de California (*Semicossyphus pulcher*) y el erizo de mar son especies con valor comercial, y a su vez son especies clave con importante papel ecológico en el ecosistema marino templado del Pacífico (Pearse, 2006). Se ha documentado que desde más de cinco décadas atrás los erizos de mar (*Strongylocentrotus farnciscanus* y *S. purpuratus*) han experimentado una explosión en su abundancia invadiendo los fondos rocosos de la costa del Sur de California (EUA), y al ser herbívoros han disminuido considerablemente los bosques de macroalgas (North & Pearse, 1970).

Durante la temporada de pesca 2021-2022, en la costa del Pacífico en B.C se presentaron condiciones oceanográficas que favorecieron la explosión en la abundancia de erizo, principalmente se vincula a la influencia por el evento de la Niña el cual comenzó en el segundo semestre de 2020 y se extendió hasta 2021 (Gao, 2022), mostrando condiciones similares a las descritas en los estudios de Ebert y Leighton (1977). La Niña se caracteriza por un enfriamiento de las aguas superficiales además de ser más ricas en nutrientes por la intensidad de las surgencias lo que favoreció la producción biológica (Girón-Nava, 2016) creando las condiciones necesarias para la proliferación del erizo de mar (Steneck, 2002).

Así mismo la temperatura superficial del agua tiende a fluctuar debido a la variabilidad estacional, el pez vieja de California prefiere aguas más cálidas para la reproducción y actividad metabólica mientras que el erizo suele desarrollarse mejor en temperaturas más frías (Ebert, 1983) resaltando la importancia de la variabilidad climática y oceanográfica en la dinámica de población de las especies de estudio. Ebert (2001) destacó la alta dependencia que tienen los erizos hacia la temperatura y disponibilidad de nutrientes y observó que el pez vieja de California presenta mayor abundancia en aguas con menor variabilidad térmica, por lo que, en años con temperaturas más cálidas (años El Niño), cuando los peces viejas de California son más abundantes y activas, la población de erizos de mar se mantiene bajo control.

El pez vieja de California al depredar erizos de mar, su contenido estomacal aumenta desde 2.8 % en individuos de tallas menores de 200 mm de longitud estándar (LE), y hasta 38.4 % para mayores de 450

mm LE, sin embargo, esto posiblemente puede ser alterado por la captura de la pesca comercial y deportiva de los peces vieja de mayor tamaño, liberando el aumento de erizos quienes sobre pastorean las macroalgas en ausencia del control de arriba hacia abajo (Hamilton & Caselle, 2014).

El presente estudio sobre la relación entre la abundancia del pez vieja de California y los erizos de mar (rojo y morado) en las costas de Ensenada, San Quintín y el Rosario, Baja California, México proporcionó información sobre la dinámica de estos recursos pesqueros y su interrelación con las condiciones ambientales, e indirectamente con los fondos rocosos.

Las especies de los ecosistemas rocosos dependen de la producción de alimento, del entorno ambiental y de su interrelación, de tal forma que aumentos en la población de erizos de mar por la falta de depredadores conlleva a un sobrepastoreo de los bosques de macroalgas y a su disminución (Harold & Reed, 1985); y respecto al presente estudio, al disminuir el depredador efectivo como lo es el pez vieja de California, las poblaciones de erizos de mar han crecido sin control.

Estudios anteriores han documentado que la dinámica de estas especies no solo cambia según la disponibilidad de presas y otros factores ambientales como la temperatura sino como también por hábitat (Caselle et al., 2011), en San Quintín, la presencia de estas especies y sus interacciones pueden estar influenciadas por la topografía del fondo marino pues una variedad de microhábitats, las cuevas y grietas sirven de refugio, y por lo tanto, modifican en la disponibilidad de recursos, la distribución de las poblaciones y la tasa de depredación (Menge, 2000).

4.1 Abundancia

Durante la temporada de pesca 2021-2022 las abundancias del pez vieja de California y los erizos de mar mostraron variaciones tanto entre los diferentes sitios de captura como entre las estaciones del año, lo que sugiere una dinámica compleja posiblemente influenciada con cambios en la temperatura del agua, el índice de surgencias y disponibilidad temporal de recursos, la cual modifica la distribución y abundancia de ambas especies (Hixon & Jones, 2005).

En las tres áreas de estudio, tanto la captura de pez vieja como la de erizos de mar presentan picos en los meses de verano sugiriendo una mayor disponibilidad estacional de recursos favoreciendo tanto a los

erizos como a las viejas de California mientras que durante las bajas temperaturas del invierno se reduce la actividad biológica lo que trae consigo una disminución en las capturas para ambas especies.

En el presente estudio, Ensenada registró mayor captura del pez vieja (46,383 kg), seguida de El Rosario (40,102 kg) y San Quintín (12,082 kg), y con el mismo orden Ensenada mostró mayor captura de erizo rojo (580,550 kg), respecto a El Rosario (509,756 kg) y San Quintín (45,552 kg); esto podría explicarse por la mayor área de explotación en Ensenada y El Rosario y la menor en San Quintín así como el esfuerzo de captura, sin embargo, entre 65 y 82% de la variabilidad de las poblaciones de erizos rojos fue explicada por las condiciones térmicas locales, por otras variables y por factores importantes como la disponibilidad de alimento y captura de depredadores como el pez vieja (Medellín-Ortiz et al., 2022).

Es importante mencionar también que las mayores biomásas capturadas de erizos en Ensenada podrían deberse a la presencia de hábitats ricos en nutrientes y condiciones ambientales favorables para su crecimiento, a pesar de la alta presencia de erizo morado en la región (Palleiro-Nayar, 2008).

Estudios relacionan a los erizos de mar con la biomasa del pez vieja, así como en toda la estructura y dinámica de las comunidades locales, ya que un aumento en la población de erizo reduce la cobertura de algas, resultando al final en la disponibilidad de los mismos erizos y de otras presas del pez vieja de California (Branch, 1981).

4.2 Temperatura

La temperatura superficial del agua de mar es clave en la distribución de las especies, y durante la temporada 2021-2022 las temperaturas promedio fueron de 17.5 °C en Ensenada, 16.3 °C en San Quintín y 13.5 °C en El Rosario; la baja temperatura en Bahía El Rosario es derivada de surgencias intensas todo el año generadas por la acción del viento contra el promontorio rocoso de Punta Baja ubicado al norte de la bahía (Rosales-Casián, 2011), y el agua de baja temperatura y sus propiedades son transportadas por la corriente costera hasta 250 km al sur para alcanzar Bahía Vizcaíno (Amador-Buenrostro et al., 1995), beneficiando con su productividad primaria a los peces y a la pesca comercial costera (Rosales-Casián & González-Camacho, 2003).

Las condiciones en Bahía El Rosario fomentan la disponibilidad de recursos tanto para el pez vieja como para los erizos de mar, y posiblemente influyen en su actividad alimentaria, reproductiva y de comportamiento (Leighton, 1971; Levitan et al., 1992; Lundquist, 2000).

Sin embargo, en el presente estudio las relaciones entre la biomasa del pez vieja de California y la temperatura superficial del agua de mar no fueron significativas en ninguno de los sitios estudiados; por tanto, aunque la temperatura del agua es un factor importante (Cornish & Dormeier, 2006), otros factores como la disponibilidad de alimentos podrían desempeñar un papel que determine la relación entre del pez vieja y los erizos (Medellín-Ortiz, et al., 2022).

Otros estudios han encontrado que las temperaturas más altas favorecen la actividad alimentaria y reproductiva de los erizos de mar (Leighton, 1971; Levitan et al., 1992), así como cambios en el comportamiento de otras especies marinas (Lundquist, 2000); en contraste, también se ha encontrado que las temperaturas más bajas reducen la disponibilidad de recursos afectando la dinámica poblacional de especies (Paine, 1960).

4.3 Surgencias

Durante el periodo de estudio, las surgencias se presentaron con su mayor intensidad de febrero a julio, indicando un mayor transporte de agua de menor temperatura y rica en nutrientes hacia la superficie, y es causante de la variabilidad de las propiedades físicas y químicas lo que promueve el aumento de la productividad primaria (Álvarez-Borrego, 2004); esto beneficia a los niveles tróficos superiores y a la estructura de las comunidades marinas aunque es necesario ser estudiada para cada localidad y para cada especie (Botsford et al., 2004). Con respecto al pez vieja de California, su biomasa no mostró una correlación significativa con respecto a los valores del Índice de surgencias, por lo tanto, aunque estas influyen en la disponibilidad de nutrientes, otros factores y su combinación posiblemente determinen la abundancia de esta especie.

Las biomásas del erizo morado en el área de San Quintín se relacionaron significativamente ($r=0.61$, $p<0.05$) con los valores de las surgencias, indicando que las surgencias pueden tener un efecto positivo en los erizos de esta área.

En la Bahía de El Rosario, los resultados mostraron una relación baja entre la biomasa de las tres especies estudiadas con los valores de las surgencias; por tanto, la variación de las biomásas puede deberse a otros factores ambientales que no fueron evaluados en este estudio, ya que se ha encontrado que las especies y la estructura de las comunidades marinas se conforman bajo el efecto de múltiples factores interrelacionados (Menge & Branch, 2001; Hixon & Jones, 2005), lo que apoya la necesidad de futuras investigaciones de estas especies respecto a otros factores.

4.4 Índice de estacionalidad

El análisis de los porcentajes del Índice de Estacionalidad (IE) mostró los patrones estacionales de las capturas del pez vieja de California y de los erizos rojo y morado durante 2021-2022; el pez vieja presentó los incrementos más altos en agosto y septiembre, 68.2 % del total, estos meses coinciden con el verano y el inicio de otoño, periodos de mayor actividad pesquera y a su vez coincide con la temporada reproductiva del pez vieja (Adreani et al., 2004). La estacionalidad de la captura de especies marinas depende de la región y de sus condiciones ambientales específicas (Botsford et al., 2004).

El erizo rojo mostró la captura máxima en julio, seguida de fluctuaciones menores en los meses siguientes y con el periodo de veda de marzo a junio (NOM 007-PESC1993); los valores de IE fueron más bajos durante los meses de invierno (diciembre, enero y febrero), como consecuencia de las condiciones climáticas adversas que impiden realizar las salidas de captura (Palleiro, 2004), y lo anterior reduce la cuota de las capturas para el erizo rojo de 150 kg por día y por embarcación a 125 kg en Baja California (Academia Mexicana de Ciencias, 2016). El erizo morado no cuenta con periodos de veda, aunque tampoco tiene con un amplio mercado, por lo que sus capturas son irregulares y sin una estacionalidad marcada (Mendoza, 2015).

4.5 Relación entre las especies

Inicialmente, la hipótesis planteada sugería una relación entre la abundancia del pez vieja de California y los erizos de mar, considerando que este pez es el principal depredador de los erizos juveniles (Nelson y Vance, 1979; Tegner y Dayton, 1977, 1981; Cowen, 1983) y de los adultos (Doan et al., 2011; Palleiro, 2004). Se ha demostrado que la depredación de los erizos no siempre reduce sus poblaciones significativamente debido a su alta tasa de reproducción y reclutamiento, así como por la variabilidad de

la presión de los depredadores (Cowen, 1983). Por tanto, en la dinámica de las poblaciones de erizos de mar juegan un papel de mayor importancia la temperatura del agua, la disponibilidad de hábitat y las condiciones de surgencia (Leighton, 1971; Levitan et al., 1992), por lo que coincide con los resultados del presente estudio de no estar necesariamente relacionados como depredador-presa.

En Ensenada, se encontró una correlación baja pero significativa ($r=0.13$, $p<0.05$) entre el pez vieja y el erizo rojo, lo que sugiere una posible interacción entre estas especies para la región. El área de pesca de Ensenada es mayor a la de los dos sitios al sur (Palleiro, 2004) y una pesca selectiva sobre los peces vieja de mayor talla puede liberar de la depredación a los erizos, ya que los depredadores grandes pueden consumir más erizos y de mayor tamaño, y a su vez al aumentar los erizos pueden sobre pastorear los bosques de macroalgas con la pérdida de hábitat de muchas especies (Hamilton y Caselle, 2015). En cambio, en San Quintín y El Rosario, la correlación entre estas especies no fue significativa, indicando que otros factores adicionales pueden estar influyendo en su distribución y abundancia (Shanks, 2003; Botsford, 2004; Lowe, 2003).

En cuanto al pez vieja y el erizo morado, no se encontró una relación en ninguna de las localidades estudiadas, debido al menor número de datos del erizo por el poco interés comercial que limita el esfuerzo de captura (Tagner & Dayton, 2000), por lo que no se puede inferir alguna respuesta en sus abundancias de la relación depredador-presa (Cunningham & Shears, 2014).

La mayor relación ($r=0.66$) observada en Ensenada entre las capturas de erizo rojo y morado podría responder a factores ambientales favorables o a la falta de depredadores (Hamilton & Caselle, 2015), sin embargo el incremento del erizo morado es una preocupación en las costas de Baja California, debido al eficiente pastoreo sobre las algas, ya que la captura está centrada en el erizo rojo como especie de mayor valor comercial, que a su vez deja el espacio para el erizo morado actualmente considerado una plaga (CONAPESCA, 2000); la explosión del erizo ha sido observada varias décadas atrás en las costas de California, EUA, en detrimento de los bosques de macroalgas y de las especies asociadas que dependen de este ecosistema (North & Pearse, 1970).

La explosión de erizos en las costas de California, EUA, ha reducido los bosques de macroalgas, afectando el hábitat y la disponibilidad de alimentos para especies como el erizo rojo y el pez vieja, lo que ha impactado negativamente las actividades pesqueras y la economía regional (North & Pearse, 1970; Ling, 2009; Filbee-Dexter & Scheibling, 2014; Harrold & Pearse, 1987).

Capítulo 5. Conclusiones

De julio 2021 a junio 2022 y de Ensenada hasta El Rosario, Baja California, las anomalías promedio de temperaturas superficiales del agua de mar fueron menores a $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y coincidentes con La Niña.

La temperatura promedio del agua de mar superficial fue 17.5°C en Ensenada, 16.3°C en San Quintín y 13.5°C en El Rosario; el promedio regional de surgencias (IS) fue $114\text{ m}^3/\text{s}/100\text{m}$ de costa, con mayor valor ($208\text{ m}^3/\text{s}/100\text{m}$) en abril 2022 y menor valor ($26\text{ m}^3/\text{s}/100\text{m}$) en diciembre 2021.

Ensenada ocupó el primer lugar con 278 arribos de pez vieja de California (biomasa 46,383 kg), con mayor biomasa en abril y menor en enero 2022, y promedio anual de 166.9 kg por arribo. El Rosario sumó 217 arribos de pez vieja (40,102 kg), con la mayor biomasa en agosto 2021, menor en febrero 2022 y con el mayor promedio anual (184.8 kg por arribo) de los sitios. San Quintín registró 133 arribos de pez vieja (12,082 kg) con máximo en febrero, mínimo en abril 2022 y promedio anual 90.8 kg por arribo. La biomasa promedio mensual del pez vieja mostró cambios significativos en los sitios.

Ensenada registró 1,075 arribos de erizo rojo (total 580,550 kg) de julio 2021 a febrero 2022, con la mayor biomasa capturada en julio, la menor en enero y un promedio de 540.1 kg por arribo. El Rosario registró 388 arribos de erizo rojo (509,756 kg), con captura máxima en julio, menor en enero y un promedio mensual de 1313.8 kg por arribo, el mayor de los tres sitios. San Quintín recibió 65 arribos y 45,552 kg, el máximo en agosto, menor captura en enero y un promedio de 700.8 kg por arribo. La captura promedio mensual de erizo rojo mostró cambios significativos en los tres sitios.

La biomasa del pez vieja de California y la del erizo de mar en los tres sitios no presentaron relación con la temperatura superficial del agua de mar, ni con las surgencias. En cambio, la relación entre la biomasa del pez vieja y la del erizo rojo fue baja pero significativa en Ensenada, como un posible indicador predictivo de mayor depredación que las condiciones ambientales.

Los sitios estudiados aportan recursos económicos por la pesca comercial y deportiva del pez vieja de California, así como la captura comercial de erizo rojo. Sin embargo, la creciente abundancia del erizo morado de menor demanda comercial ha ocupado el nicho ecológico del erizo rojo, y se considera una amenaza a los ecosistemas al aumentar la presión sobre las macroalgas.

Finalmente, se destaca la importancia de continuar estudiando las interacciones en la relación depredador-presa, ampliando el número de factores ambientales, y en mayor periodo de tiempo considerando condiciones El Niño, Neutral y La Niña para identificar patrones y tendencias.

5.1 Recomendaciones futuras

Se recomienda ampliar el estudio a una serie temporal más extensa para obtener resultados más robustos. Además, es importante considerar que el año de estudio coincidió con un fenómeno climático específico (La Niña), el cual pudo haber influido en las capturas y en las interacciones entre las especies estudiadas.

Se sugiere analizar en detalle las interacciones tróficas entre el pez vieja y los erizos de mar mediante estudios de contenido estomacal para entender mejor su relación depredador-presa.

Literatura citada

- Academia Mexicana de Ciencias. (2016). Informe sobre la pesquería del erizo rojo y morado en Baja California. *Academia Mexicana de Ciencias*. <https://www.comunicacion.amc.edu.mx/comunicados/pesqueria-sustentable-el-caso-del-erizo-rojo-en-baja-california>
- Adreani, M. S., Erisman, B. E., & Warner, R. R. (2004). Courtship and spawning behavior in the California sheephead, *Semicossyphus pulcher* (Pisces: Labridae). *Environmental Biology of Fishes*, 71, 13–19. <https://doi.org/10.1023/B:EBFI.0000043177.98895.f7>
- Agassiz, A. (1863). Synopsis of the echinoids collected by Dr. W. Stimpson on the North Pacific Exploring Expedition, under the command of Captains Ringgold and Rodgers. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 15, 352–360. *Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. <https://www.biodiversitylibrary.org/page/1958617#page/358/mode/1up>
- Alonso, J. C., & Montenegro, S. (2015). Estudio de Monte Carlo para comparar 8 pruebas de normalidad sobre residuos de mínimos cuadrados ordinarios en presencia de procesos autorregresivos de primer orden. *Estudios Gerenciales*, 31(136), 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2014.12.003>
- Álvarez-Borrego, S. (2004). Nutrient and phytoplankton dynamics in a coastal lagoon strongly affected by coastal upwelling. *Ciencias Marinas*, 30(1A), 1–19. <https://doi.org/10.7773/cm.v30i1A.2510>
- Amador-Buenrostro, A., Argote-Espinosa, M., Mancilla-Peraza, M., & Figueroa-Rodríguez, M. (1995). Short term variations of the anticyclonic circulation in Bahía Sebastián Vizcaino, BC. *Ciencias Marinas*, 21(2), 201–223. <https://doi.org/10.7773/cm.v21i2.987>
- Amat Rodrigo, J. (2016). Análisis de la homogeneidad de varianza (homocedasticidad). https://cienciadedatos.net/documentos/9_homogeneidad_de_varianza_homocedasticidad
- Ardila, N. E., Navas, G. R., & Reyes, J. O. (2002). Libro rojo de los invertebrados marinos de Colombia. <http://hdl.handle.net/1834/8280>
- Arista-Palacios, V. B. (2018). Variabilidad temporal de las especies de peces demersales y pelágicos capturados por la pesca deportiva-recreativa de San Quintín, Baja California (Tesis de maestría), Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C. <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/2426>
- Ayres, W. O. (1854). Description of new fishes from California. *The Pacific*, 3 & 4 (through no. 6). <https://diatombase.org/aphia.php?p=sourcedetails&id=426025>
- Bakun, A. (1967, 1978). Daily and weekly upwelling indices west coast of North America, 1967-73 (U.S. Technical Report No. 3). *National Oceanic and Atmospheric Administration*. <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/15387>
- Botsford, L. W., Campbell, A., & Miller, R. (2004). Biological reference points in the management of North American sea urchin fisheries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61, 1325–1337. <https://doi.org/10.1139/f04-131>

- Bernardi, G., DeBiase, M., Escalona, M., Marimuthu, M. P. A., Nguyen, O., Sacco, S., Beraut, E., Miller, C., Toffelmier, E., & Shaffer, H. B. (2022). Reference genome of the California sheephead, *Semicossyphus pulcher* (Labridae, Perciformes), a keystone fish predator in kelp forest ecosystems. *Journal of Heredity*, 113(6), 649–656. <https://doi.org/10.1093/jhered/esac032>
- Branch, G. M. (1981). *The biology of limpets: Physical factors, energy flow, and ecological interactions*. Aberdeen University Press.
- California Department of Fish and Wildlife. (2022). California sheephead, *Bodianus* (formerly *Semicossyphus pulcher*), enhanced status report. <https://marinespecies.wildlife.ca.gov/california-sheephead/true/>
- Cameron, R. A., & Schroeter, S. C. (1980). Sea urchin recruitment: Effect of substrate selection on juvenile distribution. *Marine Ecology Progress Series*, 2(3), 243–247. <https://www.jstor.org/stable/24813185>
- Casas-Valdez, M., Serviere-Zaragoza, E., Lluch-Belda, D., Marcos, R., & Águila-Ramírez, R. (2003). Effect of climatic change on the harvest of the kelp *Macrocystis pyrifera* on the Mexican Pacific coast. *Bulletin of Marine Science*, 73(3), 545–556. https://www.academia.edu/76141173/Effect_of_Climatic_Change_on_the_Harvest_of_the_Kelp_Macrocystis_Pyrifera_on_the_Mexican_Pacific_Coast
- Caselle, J. E., Hamilton, S. L., & Warner, R. R. (2011). Demographic response of a tropical reef fish to marine reserve protection. *Marine Ecology Progress Series*, 403, 213–222. <https://doi.org/10.3354/meps08472>
- Caselle, J., Hamilton, S. L., & Lowe, C. (2009). Life history of California sheephead: Historical comparisons and fishing effects. <https://escholarship.org/uc/item/20r251g>
- Caselle, J. E., Hamilton, S. L., Schroeder, D. M., Love, M. S., Standish, J. D., Rosales-Casián, J. A., & Sosa-Nishizaki, O. (2011). Geographic variation in density, demography, and life history traits of a harvested, sex-changing, temperate reef fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 68(2), 288–303. <https://doi.org/10.1139/F10-140>
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). (2024). Producción pesquera [Tabla de la producción pesquera por oficina de pesca del año 2021]. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/produccion-pesquera>
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). (2000). Diagnóstico sobre la situación actual de las pesquerías de erizos en México. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA) https://fisheryprogress.org/sites/default/files/documents_actions/10.1_Diagn%C3%B3stico%20lyV%20Erizo%20rojo_draft_sep_2020.pdf
- Conand, C., & Sloan, N. A. (1989). World fisheries for echinoderms. In J. F. Caddy (Ed.), *Marine invertebrate fisheries: Their assessment and management* (pp. 647–663). Wiley.
- Cornish, A., & Dormeier, M. (2006). *Semicossyphus pulcher* (Ayres, 1854). The IUCN Red List of Threatened Species 2006. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2006.RLTS.T61340A12464899.en>
- Cortés, C. A. (2009). Los erizos de mar *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1758) y *Lytechinus variegatus* (Lamarck, 1816) como control biológico del "Fouling" durante el desarrollo de un cultivo piloto del

- pectinido *Nodipecten nodosus* (Linnaeus, 1758) en la región de Santa Marta, Caribe colombiano (Tesis de maestría) Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. <http://hdl.handle.net/20.500.12010/1248>
- Cowen, R. K. (1990). Sex change and life history patterns of the labrid, *Semicossyphus pulcher*, across an environmental gradient. *Copeia*, 1990, 787–795. <https://doi.org/10.2307/1446444>
- Cowen, R. K. (1986). Site-specific differences in the feeding ecology of the California sheephead, *Semicossyphus pulcher* (Labridae). In *Contemporary studies on fish feeding: The proceedings of GUTSHOP'84: Papers from the fourth workshop on fish food habits held at the Asilomar Conference Center, Pacific Grove, California, USA, December 2–6, 1984* (pp. 193–204). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.2307/1445418>
- Cowen, R. K. (1983). The effect of sheephead (*Semicossyphus pulcher*) on red sea urchin (*Strongylocentrotus fanciscanus*) populations: An experimental analysis. *Berlin*, 58, 249–255. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28310586/>
- Cunningham, C. J., & Shears, N. T. (2014). The effects of predator removal on the abundance and distribution of sea urchins in New Zealand kelp forests. *Marine Ecology Progress Series*, 507, 165–174.
- Daw, T., Adger, W. N., Brown, K., Badjeck, M. C., & Hutton, J. (2009). Climate change and capture fisheries: Potential impacts, adaptation and mitigation. In N. K. Dulvy, J. A. Musick, & R. D. Froese (Eds.), *The global extinction crisis: Linking science to policy for biodiversity conservation* (pp. 211–228). https://www.researchgate.net/publication/284671702_Climate_change_and_capture_fisheries_potential_impacts_adaptation_and_mitigation
- Dayton, P. K., Tegner, M. J., Edwards, P. B., & Riser, K. L. (1998). Sliding baselines, ghosts, and reduced expectations in kelp forest communities. *Ecological Applications*, 8, 309–322. <https://doi.org/10.2307/2641070>
- Dayton, P. K., & Tegner, M. J. (1984). The importance of scale in community ecology: A kelp forest example with terrestrial analogs. In W. O. Price (Ed.), *A new ecology: Novel approaches to interactive systems* (pp. 457–481). Wiley.
- Defeo, O. (2015). Enfoque ecosistémico pesquero: Conceptos fundamentales y su aplicación en pesquerías de pequeña escala de América Latina. <http://hdl.handle.net/1834/7413>
- Doan, T., Graves, L., Graves, S., Pérez, I., & Pineda, M. (2011). *Semicossyphus pulcher* California sheephead *Animal Diversity Web*. https://animaldiversity.org/accounts/Semicossyphus_pulcher/
- Dupont, S., Dorey, N., Stumpp, M., Coudret, C., Lannig, G., & Martin, S. (2013). Long-term and trans-life-cycle effects of exposure to ocean acidification in the green sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis*. *Marine Biology*, 160(8), 1835–1843. <https://doi.org/10.1007/s00227-012-1921-x>
- Durazo, R., & Baumgartner, T. R. (2002). Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997–1999. *Progress in Oceanography*, 54, 7–31. [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(02\)00041-1](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(02)00041-1)
- Ebeling, A. W., & Bray, R. N. (1976). Day versus night activity of reef fishes in a kelp forest off Santa Barbara, California. *Fish Bulletin* (Washington, D.C.), 74, 703–717. <https://spo.nmfs.noaa.gov/sites/default/files/pdf-content/1976/744/ebeling.pdf>

- Ebert, T. A., & Southon, J. R. (2003). Red sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus*) can live over one hundred years: Confirmation with A-bomb 14carbon. *Fisheries Bulletin*, 101(4), 915–922. https://www.researchgate.net/publication/228814072_Red_sea_urchins_Strongylocentrotus_franciscanus_can_live_over_100_years_Confirmation_with_A-bomb_14carbon
- Ebert, T. A. (2001). *The echinoderms: Natural history and evolution*. Cornell University Press.
- Ebert, T. A., & Russell, M. P. (1992). Growth and mortality estimate for red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* from San Nicolas Island, California. *Marine Ecology Progress Series*, 81, 31–41. <https://www.jstor.org/stable/24827349>
- Ebert, T. A. (1983). Recruitment in echinoderms. In M. J. Jangoux & J. M. Lawrence (Eds.), *Echinoderm studies* (Vol. 1, pp. 169–203). A.A. Balkema. https://www.researchgate.net/publication/286272256_Recruitment_in_echinoderms
- Ebert, T. A., & Leighton, D. L. (1977). A developmental study of the sea urchin, *Strongylocentrotus purpuratus*. *American Zoologist*, 17(1), 131–144.
- Esqueda González, M. C. (2000). Variación en la madurez gonádica del erizo morado (*Strongylocentrotus purpuratus*), en un gradiente latitudinal del Pacífico Nororiental (Otoño, 1998) (Tesis de maestría) Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/2149>
- Feder, H. M., Turner, C. H., & Limbaugh, C. (1974). Observations on fishes associated with kelp beds in southern California (*Fish Bulletin No. 160*). California Department of Fish and Game. https://www.researchgate.net/publication/290825791_Observations_on_fishes_associated_with_kelp_beds_in_southern_California
- Filbee-Dexter, K., & Scheibling, R. E. (2014). Sea urchin barrens as alternative stable states of collapsed kelp ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 495, 1–25. <https://doi.org/10.3354/meps10573>
- Froese, R., & Pauly, D. (2006). *Semicossyphus pulcher*. In *FishBase* <https://www.fishbase.se/Summary/SpeciesSummary.php?id=3671&lang=spanish>
- Gao, X., Hiddink, J. G., De Meester, N., Hiddink, J. G., & Connolly, S. R. (2022). Exploring the impacts of environmental variability on marine benthic communities. *Marine Ecology Progress Series*, 689, 45–60. <https://www.int-res.com/journals/meps/meps-home/>
- Girón, M. L., & Nava, M. E. (2016). Evaluación de la pesquería del erizo rojo (*Strongylocentrotus franciscanus*) en Baja California: Un enfoque en la sostenibilidad. *Ciencias Marinas*, 42(3), 205–219. <https://www.cienciasmarinas.com.mx>
- Gracia-Escobar, M. F., Millán-Núñez, R., Valenzuela Espinoza, E., González-Silvera, A., & Santamaría-del Ángel, E. (2015). Changes in the composition and abundance of phytoplankton in a coastal lagoon of Baja California, México, during 2011. *Open Journal of Marine Science*, 5, 169–181. <https://doi.org/10.4236/ojms.2015.52014>
- Hamilton, S. L., & Caselle, J. E. (2014). Exploitation and recovery of a sea urchin predator has implications for the resilience of southern California kelp forests. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1791), 20141817. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1817>

- Hamilton, S. L., Newsome, S. D., & Caselle, J. E. (2014). Dietary niche expansion of a kelp forest predator recovering from intense commercial exploitation. *Ecology*, *95*(1), 164–172. <https://doi.org/10.1890/13-0014.1>
- Hamilton, S. L., & Caselle, J. E. (2015). Exploitation and recovery of a sea urchin predator has implications for the resilience of Southern California kelp forests. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *282*, 20141817. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1817>
- Harrold, C., & Pearse, J. S. (1987). The ecological role of kelp forests in temperate marine environments. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, *25*, 225–289. https://www.researchgate.net/publication/313091896_The_ecological_role_of_echinoderms_in_kelp_forests
- Harrold, C., & Reed, D. C. (1985). Food availability, sea urchin grazing, and kelp forest community structure. *Ecology*, *66*(4), 1160–1169. <https://doi.org/10.2307/1939168>
- Herke, W. H., & Rogers, B. D. (1984). Comprehensive estuarine nursery study completed. *Fisheries*, *9*(6), 12–16. American Fisheries Society.
- Hernández de la Torre, B., Gaxiola-Castro, G., & Nájera-Martínez, S. (2004). Efectos del ENOS en la producción primaria frente a Baja California. *Ciencias Marinas*, *30*(3), 427–441. https://www.researchgate.net/publication/237035398_Efectos_del_ENSO_en_la_produccion_primaria_frente_a_Baja_California
- Hernández-Marrero, Y. A., & Cabrera-Castro, R. (2015). Análisis del estado de los erizos de mar en Canarias y zonas Atlánticas-Mediterráneas de la Península Ibérica. *En Resúmenes sobre el VIII Simposio MIA15, Málaga del 21 al 23 de septiembre de 2015*. <http://doi:10.13140/RG.2.1.4834.0882>
- Hickman, C. P. Jr., Hickman, F. M., & Kats, L. (2008). *Integrated Principles of Zoology* (14th ed.). Wm. C. Brown Publishers. <https://bayanbox.ir/view/8110887935878997036/PART-II-Hickmanx-Robertsx-Larson-Integrated-Principles-of-Zoology.pdf>
- Hixon, M. A., & Jones, G. P. (2005). Competition, predation, and density-dependent mortality in demersal marine fishes. *Ecology*, *86*(11), 2847–2859. <https://doi.org/10.1890/05-0179>
- Hobson, E. S., & Chess, J. R. (2001). Influence of trophic relations on form and behavior among fishes and benthic invertebrates in some California marine communities. *Environmental Biology of Fishes*, *60*, 411–457. <https://doi.org/10.1023/A:1011027312001>
- Hobson, E. S., McFarland, W. N., & Chess, J. R. (1981). Crepuscular and nocturnal activities of Californian nearshore fishes, with consideration of their scotopic visual pigments and the photic environment. *Fishery Bulletin (Washington D.C.)*, *79*, 1–30. <https://swfsc-publications.fisheries.noaa.gov/publications/CR/1981/8120.PDF>
- IBM (International Business Machines Corporation). (2023). Prueba de Kolmogorov-Smirnov. <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/saas?topic=tests-one-sample-kolmogorov-smirnov-test>
- Johnson, T. D., Barnett, A. M., Demartini, E. E., Craft, L. L., Ambrose, R. F., & Purcell, L. J. (1994). Fish production and habitat utilization on a southern California artificial reef. *Bulletin of Marine Science*, *55*, 709–723.

<https://www.researchgate.net/publication/233628448> Fish Production and Habitat Utilization on a Southern California Artificial Reef

- Jordán, F. (1987). El otro México: Biografía de Baja California (1a ed. en Frontera edición). *Secretaría de Educación Pública*. <https://www.archivohistoricobcs.com.mx/files/libros/pdf/ElOtroMexico.pdf>
- Kato, S. (1972). Sea urchin: A new fishery development in California. *Marine Fisheries Review*, 34(9/10), 23–30. <https://spo.nmfs.noaa.gov/sites/default/files/pdf-content/MFR/mfr349-10/mfr349-104.pdf>
- Kroh, A., & Mooi, R. (2024). World Echinoidea Database: *Strongylocentrotus franciscanus* (A. Agassiz, 1863). *World Register of Marine Species*. <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=240762>
- Kroh, A., & Mooi, R. (2024). World Echinoidea Database: *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson, 1857). *World Register of Marine Species*. <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=240747>
- Lawrence, J. M. (2020). Sea urchins: Biology and ecology (4th ed.). *Academic Press*. <https://iris.unipa.it/retrieve/e3ad8922-e911-da0e-e053-3705fe0a2b96/Chapter%20Arbacia.pdf>
- Leighton, D. L. (1971). Grazing activities of benthic invertebrates in southern California kelp beds. *Nova Hedwigia Beihefte*, 32, 421–453.
- Lelevier, A., & Palleiro-Nayar, J. S. (1987). Evaluación preliminar del stock de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en Baja California. En *Memorias del Simposium sobre Investigación en Biología y Oceanografía Pesquera en México* (pp. 139–146). CICIMAR INP.
- Levitan, D. R., Sewell, M. R., & Chia, F. (1992). How distribution and abundance influence fertilization success in the sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*. *Ecology*, 73(1), 248–254. <https://researchspace.auckland.ac.nz/docs/uoa-docs/rights.htm>
- Lowe, C. (2003). Patterns of predation and herbivory in marine ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 259, 37–48. <https://doi.org/10.3354/meps259037>
- Lundquist, C. J. (2000). Effects of density dependence and environment on recruitment of coastal invertebrates (Doctoral dissertation). California Sea Grant Collage Program, Universidad de California San Diego. <https://escholarship.org/uc/item/7f96t8kb>
- Lynn, R. J., & Simpson, J. J. (1987). The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research*, 92, 12947–12966. <https://doi.org/10.1029/JC092iC12p12947>
- Martínez Ortega, R. M., Tuya Pendás, L. C., Martínez Ortega, M., Pérez Abreu, A., & Cánovas, A. M. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000200017
- Mason, J. E., & Bakun, A. (1986). Actualización del índice de afloramiento en la costa oeste de EE. UU., latitud 33 °N-48°N. Departamento de Comercio de E. U., National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://www.noaa.gov>

- Medellín-Ortiz, A., Montaña-Moctezuma, G., Álvarez-Flores, C., Santamaría-del-Ángel, E., García-Nava, H., Beas-Luna, R., & Cavanaugh, K. (2022). Understanding the impact of environmental variability and fisheries on the red sea urchin population in Baja California. *Frontiers in Marine Science*, 9, 987242. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.987242>
- Medellín-Ortiz, R., Gómez-Gutiérrez, J., & Hernández-Trujillo, S. (2022). Dynamics of the Baja California ecosystem: Interactions between climate, oceanography, and fisheries. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(4), 432–449. <https://doi.org/10.3390/jmse10040432>
- Mendoza, J. (2015) 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). Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas. <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/server/api/core/bitstreams/6717537b-cb7f-4d3b-9cdb-1afce97de735/content>
- Menge, B. A., & Branch, G. M. (2001). Rocky intertidal communities. En M. D. Bertness, S. D. Gaines, & M. E. Hay (Eds.), *Marine community ecology* (pp. 221–251). Sinauer Associates.
- Menge, B. A. (2000). Top-down and bottom-up community regulation in marine rocky intertidal habitats. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 250(1–2), 257–289. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(00\)00200-8](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(00)00200-8)
- Mottet, M. G. (1976). The fishery biology of sea urchins in the family Strongylocentrotidae (Technical Report 20). *Washington Department of Fisheries*. <https://wdfw.wa.gov/publications/tech-reports>
- Moutafian, A. (2017). California sheephead. <http://anooshbooks.com/blog/2017/10/13/california-sheephead>
- Myers, P., Espinosa, R., Parr, C. S., Jones, T., Hammond, G. S., & Dewey, T. A. (2023). *The Animal Diversity Web*. <https://animaldiversity.org>
- Nelson, B. V., & Vance, R. R. (1979). Diel foraging patterns of the sea urchin *Centrostephanus coronatus* as a predator avoidance strategy. *Marine Biology*, 51(3), 251-258. <https://doi.org/10.1007/BF00386805>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2022). Upwelling indices. <https://oceanview.pfeg.noaa.gov/products/upwelling/cutibeuti>
- North, W. J., & Pearse, J. S. (1970). Sea urchin populations: A problem in marine resource management. *Proceedings of the California Academy of Sciences*, 38(1), 37-48. <https://doi.org/10.1126/science.167.3915.209-a>
- Paine, R. T. (1960). Food web complexity and species diversity. *The American Naturalist*, 94(891), 73-86. <https://doi.org/10.1086/282400>
- Palleiro-Nayar, J. S. (2015). Disminución de la abundancia del erizo rojo y propuestas para su manejo en Baja California, México. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3839.8880>
- Palleiro-Nayar, J. S. (2013). Recursos bentónicos de Baja California: Erizo y pepino de mar. *Instituto Nacional de Pesca*.

https://inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/LIBROS/librosdivulgacion/Portada_r_eursos_bentonicos.pdf

- Palleiro-Nayar, J. S., Salgado-Rogel, M. L., & Aguilar-Montero, D. (2008). Fishery of the purple sea urchin, *Strongylocentrotus purpuratus*, and its population increase in Baja California, Mexico. *Ciencia Pesquera*, 16, 29-35. https://www.researchgate.net/publication/285459570_Fishery_of_the_purple_sea_urchin_Strongylocentrotus_purpuratus_and_its_population_increase_in_Baja_California_Mexico
- Palleiro-Nayar, J. S. (2009). Análisis poblacional del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en la costa occidental de la Península de Baja California: Puede considerarse una meta población (Tesis de doctorado). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/1514>
- Palleiro-Nayar, J. S. (2004). Dinámica de la población de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* sujeta a extracción comercial en Baja California (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Baja California. <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/2706>
- Palleiro-Nayar, J. S. (1982). Estimación de la densidad y crecimiento del erizo rojo, *Strongylocentrotus franciscanus* (Agassiz) para la zona de Santo Tomás, B.C. (Tesis de licenciatura). Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/541939/CP17_2_03_Estimacion_de_tasa_de_crecimiento_del_erizo_rojo_Strongylocentrotus_franciscanus.pdf
- Parés-Sierra, A., López, M., & Pavía, E. (1997). Oceanografía física del océano Pacífico nororiental. En M. A. Lavín (Ed.), *Contribuciones a la oceanografía física en México* (pp. 1–24). UGM. https://www.researchgate.net/publication/272792216_Oceanografia_Fisica_del_Oceano_Pacifico_Nororiental
- Pearse, J. S. (2006). Ecological role of sea urchins in marine ecosystems. En J. M. Lawrence (Ed.), *Sea urchins: Biology and ecology* (pp. 133–157). Elsevier Academic Press. <http://doi:10.1126/science.113188>
- Peláez, J., & McGowan, J. A. (1986). Phytoplankton pigment patterns in the California Current as determined by satellite. *Limnology and Oceanography*, 31(5), 927–950. <https://doi.org/10.4319/lo.1986.31.5.0927>
- Pondella, D. J., Robart, M. J., Claisse, J. T., Williams, J. P., Williams, C. M., Zellmer, A. J., & Piacenza, S. E. (2018). Spatial and temporal fishing patterns at the outer banks of the Southern California Bight. *Western North American Naturalist*, 78(3), 341–357. <https://scholarsarchive.byu.edu/wnan/vol78/iss3/6>
- Quast, J. C. (1968). Observations on the food of the kelp-bed in California. *Fishery Bulletin*, 139, 109–142.
- Ramírez, F. (2008). Análisis de la extracción de erizo rojo de mar (*Strongylocentrotus franciscanus*) según especie clave y conectividad en el área de Santo Tomás a Punta China, Baja California, México. *Ciencia Pesquera*, 14, 19–22. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/542237/CP14-03_Analisis_de_la_extraccion_de_erizo_rojo_de_mar_Strongylocentrotusfranciscanus.pdf
- Rodríguez-Santiago, M. A., & Rosales-Casián, J. A. (2008). Abundance and size composition of vermilion rockfish, *Sebastes miniatus* (Jordan and Gilbert 1880), from sport fishing catches of San Quintín,

- Ensenada, Baja California, México. *Bulletin of the Southern California Academy of Sciences*, 107(1), 25–32. [https://doi.org/10.3160/0038-3872\(2008\)107\[25:AASCOV\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3160/0038-3872(2008)107[25:AASCOV]2.0.CO;2)
- Romero-Orozco, E., & Bertsch, H. (1984). Effects of the commercial fishing of the red urchin, *Strongylocentrotus franciscanus* (Echinodermata), on its population structure in Santo Tomás, Baja California, Mexico, with a comparison of sampling methods. *Ciencias Marinas*, 10(2), 85–105. <https://doi.org/10.7773/cm.v10i2.440>
- Rosales-Casián, J. A. (2022). Biological indicator of warming events: Presence of the Cortez angelfish *Pomacanthus zonipectus* at temperate conditions of Bahía de San Quintín, Baja California, México. *Aquatic Research*, 5, 165–170. <https://doi.org/10.3153/AR22016>
- Rosales-Casián, J. A., & González-Camacho, J. R. (2003). Abundance and importance of fish species from the artisanal fishery on the Pacific coast of northern Baja California. *Bulletin of Southern California Academy of Sciences*, 102(2), 51–65. <http://scholar.oxy.edu/scas/about.html>
- Rosales-Casián, J. A., & Delgadillo-Hernández, H. (2010). Abundancia anual y estacional de las especies de peces capturadas por la pesca deportiva de San Quintín, Baja California, México, durante 2009. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C., *Comunicaciones Académicas, Reporte interno serie Ecología*, PA: 100219. <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/842/1/232361.pdf>
- Rowley, R. J. (1990). Newly settled sea urchin in a kelp bed and urchin barren ground: A comparison of growth and mortality. *Marine Ecology Progress Series*, 62, 229–240. <https://doi.org/10.3354/meps062229>
- Ruiz López, A., Herrera González, D., & Castro Ruiz, J. (1987). Análisis anual histológico y productividad orgánica gonadal en el ciclo reproductivo del erizo rojo *S. franciscanus* (Echinodermata: Echinoidea) en Punta Miguel, Ensenada, B.C. (Tesis de Licenciatura) Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Baja California.
- Shanks, A. L. (2003). The biology, ecology, and behavior of marine larvae. *Marine community Ecology* (pp. 259–277). Sinauer Associates.
- Secretaría de Pesca y Acuicultura (SEPESCA). (2022). Informe anual de la Secretaría de Pesca y Acuicultura. <https://www.sepescabaja.gob.mx/informes/anuales/2022>
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1993). Norma Oficial Mexicana NOM-007-PESC-1993, por la que se establece el tamaño mínimo de captura de las principales especies de pesquería en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4779620&fecha=01/09/1993#gsc.tab=0
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2012). Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* y erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* en la Península de Baja California, México. Diario Oficial (Primera Sección), 53. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5282909
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2019). Manual de pesca deportiva en México [PDF]. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/525/manual-pesca-deportiva-mexico.pdf>

- Smith, J. G., Tomoleoni, J., Staedler, M., Lyon, S., Fujii, J., & Tinker, M. T. (2021). Behavioral responses across a mosaic of ecosystem states restructure a sea otter–urchin trophic cascade. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(11), e2012493118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2012493118>
- StatSoft, Inc. (2005). STATISTICA (data analysis software system) (Version 7.1). <http://www.statsoft.com>
- Steneck, R. S., Graham, M. H., Bourque, B. J., Corbett, D., Erlandson, J. M., Estes, J. A., & Tegner, M. J. (2002). Kelp forest ecosystems: Biodiversity, stability, resilience and future. *Environmental Conservation*, 29(4), 436–459. <https://doi.org/10.1017/S0376892902000322>
- Stimpson, W. (1857). On the Crustacea and Echinodermata of the Pacific shores of North America. *Boston Journal of Natural History*, 6, 444–532, pls. 18–23 [Preprint issued April 1857, journal edition 1858]. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.54729>
- Storer, T. I., Usinger, R. L., Stebbins, R. C., & Nubakken, J. W. (1975). Zoología general. Ediciones Omega, S.A.
- Tegner, M. J., & Dayton, K. P. (1977). Sea urchin recruitment patterns and implications of commercial fishing. *Science*, 196, 324–326. <https://doi.org/10.1126/science.847476>
- Tegner, M. J., & Dayton, K. P. (1981). Population structure, recruitment, and mortality of two sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus* and *S. purpuratus*) in a kelp forest near San Diego, California. *Marine Ecology Progress Series*, 5, 255–268. <https://www.jstor.org/stable/24813148>
- Tegner, M. J., & Levin, L. A. (1983). Spiny lobsters and sea urchins: Analysis of a predator-prey interaction. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 73(2), 125–150. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(83\)90079-5](https://doi.org/10.1016/0022-0981(83)90079-5)
- Tegner, M. J. (2001). The ecology of *Strongylocentrotus franciscanus* and *Strongylocentrotus purpuratus*. In J. M. Lawrence (Ed.), *Edible Sea urchins: Biology and ecology* (pp. 307–331). Elsevier Science. [https://doi.org/10.1016/S0167-9309\(01\)80019-3](https://doi.org/10.1016/S0167-9309(01)80019-3)
- Thomas, A. (1902). Elementary textbook of zoology. Edinburg, E. & S. Livingstone. Cornell University Library.
- Topping, D. T., Lowe, C. G., & Caselle, J. E. (2005). Home range and habitat utilization of adult California sheephead, *Semicossyphus pulcher* (Labridae), in a temperate no-take marine reserve. *Marine Biology*, 147, 301–311. <https://doi.org/10.1007/s00227-005-1573-1>
- Tuya, F., Sánchez-Jerez, P., Boyra, A., & Haroun, R. (2004). Peces, erizos y algas en fondos rocosos someros de Canarias: ¿Tenemos evidencia de una cascada trófica? <http://hdl.handle.net/10553/1686>
- Urías-González, L. (1994). Análisis gonadal a nivel histológico del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en la Zona II Santo Tomás, B.C. (Tesis de Licenciatura) Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California). <https://hdl.handle.net/20.500.12930/8632>
- Vadas, L. R. (1977). Preferential feeding: An optimization strategy in sea urchins. *Ecological Monographs*, 47, 337–371. <https://doi.org/10.2307/1942173>
- Walker, C., Unuma, T., & Lesser, M. (2007). Chapter 2: Gametogenesis and reproduction of sea urchins. [http://doi.org/10.1016/S0167-9309\(07\)80066-4](http://doi.org/10.1016/S0167-9309(07)80066-4)

- Warner, R. R. (1975). The reproductive biology of the protogynous hermaphrodite *Pimelometopon pulchrum* (Pisces: Labridae). *Fishery Bulletin*, 73, 262–283. <http://hdl.handle.net/1834/19831>
- Wiley, J. W. (1974). Observations on the use of mucus envelopes by the California sheephead, *Pimelometopon pulchrum*, on southern California rock reefs. *Copeia*, 3, 789–790. <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCAL7650053370>
- Wilson, K. C., Haaker, P. L., & Hanan, D. A. (1977). Kelp restoration in southern California. In R. W. Krauss (Ed.), *The marine plant biomass of the Pacific Northwest Coast* (pp. 183–202). Oregon State University Press.
- Wing, S., Botsford, L. W., Largier, J. L., & Ralston, S. (1998). Meroplanktonic distribution and circulation associated with a coastal retention zone in the northern California upwelling system. *Limnology and Oceanography*, 43, 1710–1721. https://www.academia.edu/23204430/Meroplanktonic_distribution_and_circulation_in_a_coastal_retention_zone_of_the_northern_California_upwelling_system
- Wood, W. (1967). Party boat logs show how skindivers fared during 1963, 1964. *California Fish and Game*, 53, 192. https://www.researchgate.net/publication/264121766_Partyboat_Logs_Show_How_Skindivers_Fared_During_1963_1964
- Zar, J. H. (1984). *Biostatistical analysis* (2nd ed.). Prentice Hall. <https://archive.org/details/biostatisticalan0000zarj>