



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
DEL NOROESTE, S.C.

---

---

Programa de Estudios de Posgrado

CAMBIOS HISTÓRICOS EN LAS POBLACIONES DE  
ABULÓN AZUL Y AMARILLO EN LA PENÍNSULA DE  
BAJA CALIFORNIA

TESIS

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales  
Orientación Biología Marina

P r e s e n t a

PABLO DAVID VEGA GARCÍA

La Paz, Baja California Sur, febrero de 2016

## ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 10 horas del día 8 del Mes de Febrero del 2016, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

**"Cambios históricos en las poblaciones de abulón azul y amarillo en la Península de Baja California "**

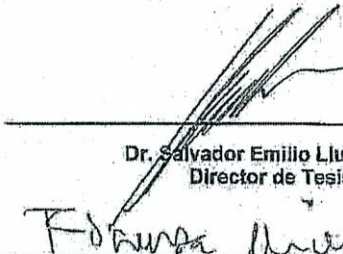
Presentada por el alumno:

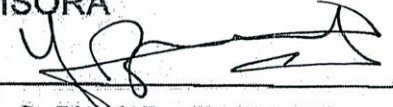
**Pablo David Vega García**

Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN Biología Marina

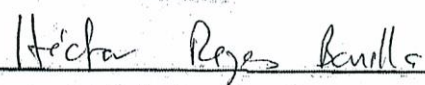
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

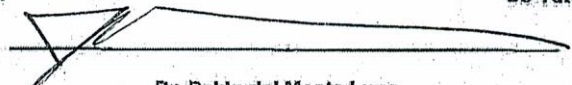
### LA COMISIÓN REVISORA

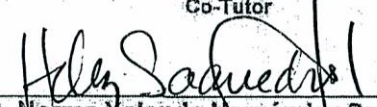
  
Dr. Salvador Emilio Lluch cota  
Director de Tesis

  
Dr. Eduardo Francisco Balart Páez  
Co-Tutor

  
Dra. Fiorenza Micheli  
Co-Tutor

  
Dr. Hector Reyes Bonilla  
Co-Tutor

  
Dr. Pablo del Monte Luna  
Co-Tutor

  
Dra. Norma Yolanda Hernández Saavedra,  
Directora de Estudios de Posgrado y  
Formación de Recursos Humanos

## **COMITÉ TUTORIAL**

**Dr. Salvador Emilio Lluch Cota**

Director de Tesis

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, BCS. México.

**Dra. Fiorenza Micheli**

Co-Tutor

Hopkins Marine Station, Stanford  
University.

Pacific Grove, CA. EEUU.

**Dr. Héctor Reyes Bonilla**

Co-Tutor

Universidad Autónoma de Baja  
California Sur.

La Paz, BCS. México.

**Dr. Eduardo Francisco Balart Páez**

Co-Tutor

Centro de Investigaciones Biológicas  
del Noroeste.

La Paz, BCS. México

**Dr. Pablo Del Monte Luna**

Co-Tutor

Centro de Interdisciplinario de  
Ciencias Marinas.

La Paz, BCS. México.

## **COMITÉ REVISOR DE TESIS**

Dr. Salvador Emilio Lluch Cota

Dra. Fiorenza Micheli

Dr. Eduardo Francisco Balart Páez

Dr. Héctor Reyes Bonilla

Dr. Pablo Del Monte Luna

## **JURADO DE EXAMEN**

Dr. Salvador Emilio Lluch Cota

Dra. Fiorenza Micheli

Dr. Eduardo Francisco Balart Páez

Dr. Héctor Reyes Bonilla

Dr. Pablo Del Monte Luna

## **SUPLENTE**

Dr. Fausto Valenzuela Quiñonez

Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón

## RESUMEN

El abulón es un importante recurso pesquero en México que en las últimas décadas ha presentado una importante disminución de sus poblaciones, a pesar de las estrictas regulaciones a las que está sometida su explotación. Si bien la tendencia general de las capturas de abulón indica una disminución de las dos principales especies que la conforman (*Haliotis fulgens* y *H corrugata*), a partir de su máximo histórico en 1950, esta tendencia no ha sido uniforme ni entre especies ni entre las regiones de donde se extrae. Estas diferencias sugieren la existencia de otros factores, además de la pesca, que influyen los cambios en la abundancia y distribución de las poblaciones de abulón en la Península de Baja California. En el presente estudio se analiza algunos de los posibles factores biológicos y ecológicos que pudieran explicar las diferencias entre la distribución y abundancia de las poblaciones de abulón azul y amarillo lo largo de la Península de Baja California. Para evaluar el posible efecto del cambio climático en la distribución de las especies, se realizó un censo de abulones a lo largo de su distribución en la Península de Baja California para comparar las densidades actuales con las de un reporte de 1970. De manera adicional, se recolectaron especímenes de macroinvertebrados asociados durante el censo de abulones. En el caso de la temperatura se actualizó un modelo que correlaciona la oscilación interdecadal del Pacífico (PDO) por sus siglas en inglés, con las abundancias de abulón amarillo. Para comparar la tolerancia de ambas especies ante eventos de hipoxia, se realizó un experimento en laboratorio para someter abulones adultos a condiciones de hipoxia y registrar sus límites de tolerancia. Se comparó la alimentación de ambas especies a partir del análisis de isótopos estables de  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$  en músculo, durante un ciclo anual. Los datos de abundancia de macroinvertebrados, tomados durante el censo de abulón, fueron empleados en un análisis de Cluster y MDS con el índice de Bray Curtis para identificar interacciones ecológicas. El límite de distribución sur de ambas especies se ha mantenido en los últimos 40 años, lo que sugiere que no existe una afectación significativa asociada al cambio climático en las poblaciones, lo que concuerda con el hecho de que las capturas no presentan correlaciones con PDO ni otras series asociadas a temperatura. El nivel de hipoxia que pueden tolerar ambas especies está por debajo de las condiciones experimentales utilizadas ( $0.6 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ), lo que indica que los adultos de ambas especies son muy tolerantes a este factor ambiental. Las principales diferencias entre especies se encontraron en la alimentación, donde el abulón azul presentó mayor amplitud en la señal isotópica a lo largo del año, indicando un mayor espectro trófico en comparación con el amarillo. Al comparar la estructura de la comunidad bentónica asociada al abulón, se detectó que la región central presenta altas abundancias de abulón y de otros invertebrados, lo cual podría estar asociado a las surgencias y la permanencia de alta productividad en la zona, considerada un Centro de Actividad Biológica (BAC). Se sugiere que el abulón azul ha sido capaz de aprovechar mejor que el amarillo las condiciones locales de productividad, debido a su mayor plasticidad alimenticia.

**Palabras clave:** *Haliotis fulgens*, *Haliotis corrugata*, Cambio climático, Isótopos estables, BAC.

## ABSTRACT

Abalone is an important fishery in Mexico. Despite strict management regulations, it has shown a significant decrease in populations in recent years. While the general trend of abalone catches has indicated a decrease in its two main species (*Haliotis fulgens* and *H. corrugata*) from its maximum historical record in 1950, it has not been uniform between species or between regions where they are captured. These differences suggest the existence of other factors besides fishing that influence changes in distribution and abundance of abalone populations in the Baja California Peninsula. This study analyzes some possible factors, biological and ecological, that could explain the differences between distribution and abundance of the populations of green and pink abalone along the Baja California. To assess the potential impact of climate change on species distribution, an abalone census was conducted along its distribution in the Baja California Peninsula to compare current densities with a report of 1970. Additionally, associated macro-invertebrate specimens were collected during the abalone survey. In the case of temperature, a model that correlates Pacific Decadal Oscillation (PDO) with pink abalone abundances was updated. To compare the tolerance of both species to hypoxic events, a laboratory experiment was conducted to subject adult abalone to hypoxic conditions and record their tolerance limits. Feeding of both species was compared based on the analysis of stable isotopes  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  in muscle during an annual cycle. The macro-invertebrate abundance data, taken during the abalone census were employed on Cluster and MDS analyses with Bray Curtis index to identify ecological interactions. The southern distribution limit of both species has remained unchanged in the past 40 years, which suggests no significant effect is associated with climate change on populations, consistent with the fact that catches do not show correlations with PDO or other series associated with temperature. The level of hypoxia that both species could tolerate was under the experimental conditions used ( $0.6 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ), indicating that adults of both species were tolerant to this environmental factor. The main differences between species were found in food, where the green abalone showed greater variation in the isotopic signal throughout the year, indicating a higher trophic spectrum compared to pink abalone. While comparing the structure of the benthic community associated with abalone, the central region was observed with high abundances of abalone and other invertebrates, which could be associated with upwelling and retention of high productivity in the area considered as a biological activity center (BAC). The green abalone might have been able to use the local productivity conditions better than pink abalone because of their higher food plasticity.

**Keywords:** *Haliotis fulgens*, *Haliotis corrugata*, Climatic change, Stable isotope, BAC.

## **DEDICATORIA**

*Con mucho cariño a mi hermano Ernesto quien se adelantó a nuestro destino.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al CIBNOR por la oportunidad de realizar mis estudios de doctorado, al CONACYT por el apoyo otorgado mediante la beca (224246).

A los laboratorios del CIBNOR, Macroalgas, Ecofisiología de Organismos Acuáticos por las facilidades otorgadas, así como a sus técnicos Alejandra Mazariegos, Rosa Linda Salgado, Gilberto González y Julio Egren Félix por el apoyo brindado. Al Área de Buceo y Embarcaciones y sus técnicos Horacio Bervera y Juan José Ramírez. A Diana Dorantes por el apoyo en la edición del abstract.

A Oscar y Liliana por todo el apoyo durante la organización y desarrollo del trabajo de campo, sin su ayuda nada de este trabajo hubiera sido posible.

A Marco Medina (UABC), Ramiro Arcos (UABC), María Moreno (UABC), Artúro Ramírez (UABCS), Pedro Arturo Sierra (CIBNOR), Fernando López Salas (Soc Cooperativa Leyes de Reforma) por todo su trabajo durante los muestreos.

A los miembros del comité revisor Pablo Del Monte, Fiorenza Micheli, Eduardo Balart y Hector Reyes por sus comentarios, consejos y observaciones a lo largo del proyecto.

A Salvador Lluch y Tere Sicard por su enseñanzas y apoyo durante estos largos años de trabajo y amistad.

A mis Padres y hermanos que siempre han estado ahí apoyándome y alentándome para lograr todos mis proyectos.

A todos los nuevos y viejos amigos que me acompañaron y brindaron parte de su tiempo Linda, Anita, Bere, Rosy, Naty, Fito, Miguel, Coy, Toñito, Píndaro, Rosita, Lalo, Meli, Camila, Magui, Rafa, Hever, Nurens, Reneé, Karol y Mau. Gracias por hacer tan agradable la estancia a lo largo de esta etapa de vida.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>vii</b>
<b>CONTENIDO</b> .....	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>x</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>3</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>HIPÓTESIS</b> .....	<b>6</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>6</b>
General .....	6
Particulares .....	6
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>7</b>
Área de Estudio .....	7
Trabajo de campo .....	9
Cambios históricos de las poblaciones de abulón. ....	11
Diferencias fisiológicas y biológicas de abulón azul y amarillo .....	12
Tolerancia a hipoxia .....	12
Diferencias en alimentación .....	13
Patrones ecológicos.....	14
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>15</b>
Cambios históricos.....	15
Diferencias fisiológicas y biológicas entre especies.....	20
Hipoxia .....	22
Alimentación.....	22
<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>29</b>
Cambios históricos de las poblaciones de abulón.....	29
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>42</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>43</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>55</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Límites de distribución sur reportados para las especies de abulón en la costa noroeste del pacífico.....	<b>2</b>
<b>Figura 2.</b> Zona de estudio y ubicación de los puntos de muestreo.....	<b>9</b>
<b>Figura 3.</b> Diseño de muestreo de los transectos (Guzmán de Prío <i>et al.</i> , 1972). ..	<b>10</b>
<b>Figura 4.</b> Series de tiempo de capturas estandarizadas.....	<b>16</b>
<b>Figura 5.</b> Comparación de las densidades total de abulones entre 1970 y 2011..	<b>17</b>
<b>Figura 6.</b> Comparación espacial de las especies de abulón azul y amarillo en 1970 y 2011.....	<b>18</b>
<b>Figura 7.</b> Series de captura e índices ambientales del PDO y el MEI. ....	<b>19</b>
<b>Figura 8.</b> Curva de concentración de oxígeno en el tiempo durante el experimento de hipoxia al que se sometieron individuos adultos de abulón azul y abulón amarillo en el presente trabajo.....	<b>22</b>
<b>Figura 9.</b> Promedio ( $\pm 1$ SD) de valores de isótopos estables de $^{13}\text{C}$ y $^{15}\text{N}$ (‰) de abulón y sus fuentes de alimentación conocidas, en las localidades de A) Bahía Tortugas y B) La Bocana. ....	<b>24</b>
<b>Figura 10.</b> Ciclo anual de isótopos estables de $^{13}\text{C}$ y $^{15}\text{N}$ del músculo de abulón amarillo y azul en la localidad de la Bocana.....	<b>25</b>
<b>Figura 11.</b> Dendograma y mapa donde se muestran las regiones formadas por el análisis de cluster.....	<b>27</b>
<b>Figura 12.</b> Densidad promedio por regiones de las poblaciones de abulón a) azul y b) amarillo en los años de 1970 y 2011.....	<b>28</b>
<b>Figura 13.</b> Porcentaje de especies coincidentes que tienen mayor abundancia promedio en la región central con respecto a las adyacentes.....	<b>28</b>

## **LISTA DE TABLAS**

**Tabla I.** Comparación de parámetros fisiológicos y biológicos entre abulón azul y amarillo..... **21**

**Tabla II.** Riqueza promedio, abundancia, diversidad y similitud de la comunidad de macroinvertebrados en las regiones de identificadas..... **27**

## INTRODUCCIÓN

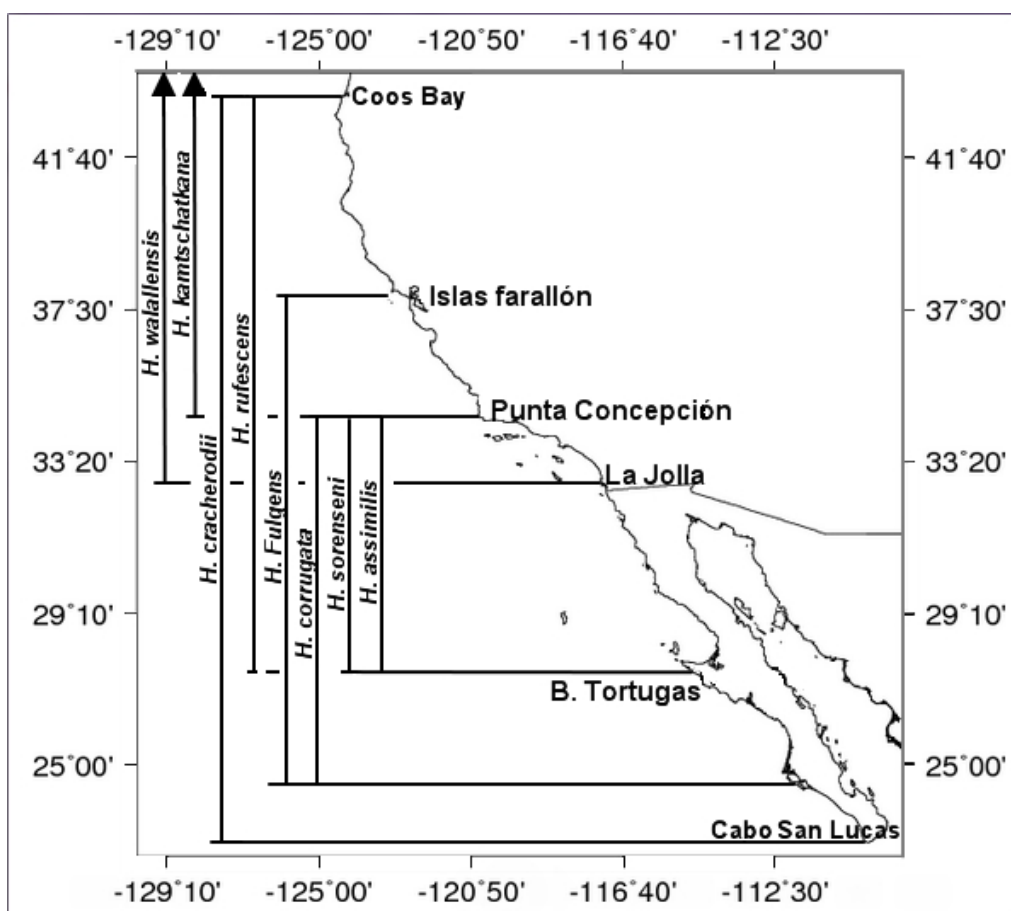
El género *Haliotis* corresponde al grupo de moluscos bentónicos de vida larga conocidos como abulones u orejas de mar que habitan en zonas costeras rocosas de todos los continentes. Son organismos gonocóricos de fecundación externa con limitada capacidad de dispersión y movilidad. El sabor de su carne es muy apreciado, en particular el mercado asiático, lo que le confiere un alto valor comercial que ha permitido el desarrollo de importantes pesquerías alrededor del mundo.

En la costa occidental del Pacífico noreste se distribuyen ocho especies: el abulón pinto o norteño (*Haliotis kamtschatkana*; Jonas, 1845), rojo (*H. rufescens*; Swainson, 1822), azul (*H. fulgens*; Philippi, 1845), amarillo (*H. corrugata*; Wood, 1828) negro (*H. cracherodii*; Leach, 1814), chino (*H. sorenseni*; Bartsch, 1940), rayado (*H. assimilis*; Dall, 1878) y aplanado (*H. walallensis*; Stearns, 1899) cuyos rangos de distribución están traslapados, principalmente en las costas de California, EE.UU. (Figura 1). De estas especies, al menos seis han estado sujetas a pesquerías comerciales durante el siglo pasado, de las cuales en la actualidad sólo se mantiene *H. rufescens* como objetivo de pesca deportiva en el norte de California y las especies de *H. corrugata* y *H. fulgens* en la región central de la Península de Baja California, donde son consideradas pesquerías en recuperación (Sierra-Rodríguez *et al.*, 2006).

La pesquería de *H. kamtschatkana* fue cerrada en 1990 en la Columbia Británica (Campbell, 2000) y en 1995 en Alaska (Woodby *et al.*, 2000); y la pesquería comercial de *Haliotis spp.*, que se encontraba conformada por cinco especies, fue cerrada desde 1997 en California (Karpov *et al.*, 2000). En México, por otra parte, el abulón es considerado uno de los principales recursos pesqueros y la pesca se ha mantenido de manera rentable gracias al alto valor comercial del producto, esto a pesar de sus relativamente bajos volúmenes de producción actual (400-350 t de callo; Carta Nacional Pesquera, 2010).

Durante las décadas de 1950 y 1960, la pesquería de California se basaba principalmente de abulón rojo y amarillo. En la década de 1970 se presentó un

periodo de descenso pronunciado, sin embargo, la señal de colapso fue enmascarada por el incremento en la contribución de otras especies en las capturas (blanco, azul y negro). Durante la década de 1980 la mayoría de las poblaciones de abulón colapsaron, quedando una producción relativamente estable pero mucho más baja del pico histórico, basada en abulón rojo, la cual continuó hasta su total cierre en 1997 (Karpov *et al.*, 2000). En el caso de México, en la parte central de la Península de Baja California, la pesquería también enfrentó un fuerte descenso durante la década de 1970, y a partir de entonces las capturas se mantuvieron muy por debajo del pico histórico, sin embargo, la pesquería continua operando hasta la fecha.



**Figura 1.** Límites de distribución sur reportados para las especies de abulón en la costa noroeste del pacífico.

Si se comparan las series de tiempo de las capturas de las pesquerías de México y EE.UU., se aprecia que el abulón azul, a diferencia de las otras especies, no muestra una tendencia de reducción, sino que se ha mantenido fluctuando alrededor de un nivel bajo, pero estable. Por otro lado, la disminución de la captura por especie fue heterogénea a lo largo de su rango de distribución. Esta tendencia se puede apreciar en la costa occidental de la península de Baja California donde, a pesar de que no están disponibles las estadísticas oficiales de captura por localidad, el INAPESCA reporta cambios en la composición de especies por región administrativa (Sierra-Rodríguez *et al.*, 2006). En la parte norte (Región 1) y la zona de Bahía Asunción hasta La Bocana (Región 3), las capturas de abulón azul pierden importancia y están cercanas al 60%; incluso en la región 3 se ha observado un incremento paulatino del abulón amarillo desde 1990 cuando representaba sólo el 7% de la captura; ya en 2003 alcanzó el 43%.

Si bien la tendencia general ha sido hacia una disminución, que se presume ha sido causada por la explotación, las diferencias de captura entre regiones y especies sugieren la existencia de otros factores que influyen los cambios en la abundancia de las poblaciones de abulón en la Península, ya sea por una respuesta diferencial de las poblaciones ante la propia actividad extractiva o diferencias en la respuesta al ambiente o relaciones ecológicas, en el presente estudio se busca determinar algunos de estos factores.

## **ANTECEDENTES**

Estudios recientes se han enfocado en el impacto potencial del calentamiento global en las poblaciones de abulón (Tegner *et al.*, 2001; Vilchis *et al.*, 2005), así como en la incorporación de la variabilidad ambiental en los modelos de estimación de biomasa y capturas (Friedman, 2004; Ponce Díaz, 2004; Sierra *et al.*, 1998). Sin embargo, determinar los impactos del cambio climático en recursos sometidos a explotación es sumamente complicado (Portner *et al.*, 2014), especialmente en sistemas con poca información biológica y ambiental.

Uno de los impactos previstos del cambio climático en las poblaciones marinas consiste en el cambio latitudinal de la distribución hacia los polos (Walther

*et al.*, 2002; Root *et al.*, 2003; Cheung *et al.*, 2010; Portner *et al.*, 2014). En principio, se esperaría que los abulones fueran particularmente susceptibles a presentar este tipo de cambios ya que se trata de organismos longevos y de escasa movilidad (Portner *et al.*, 2014).

En los últimos años, y en particular a partir de 2007, se han detectado disminuciones en la captura de abulón en México que representaron reducciones de hasta 70 toneladas (en 2010) con un valor cercano a los 5.4 millones de dólares. Estas disminuciones pueden estar asociadas con eventos de mortalidades en las zonas de captura y/o con cambios en la abundancia y distribución de la población y estructura del ecosistema. En el caso de las mortalidades, se ha observado cierta relación entre las condiciones de hipoxia y las mortalidades de abulón observadas en la zona (Lluch-Cota, 2012, Micheli *et al.*, 2012).

La distribución del oxígeno en la columna de agua es muy dinámica. Típicamente, la fotosíntesis del fitoplancton y la interacción con la atmósfera resultan en un máximo de oxígeno disuelto en la zona fótica, cerca de la superficie, mientras que la respiración de los organismos y las reacciones de oxidación asociadas a la descomposición de la materia orgánica resultan en una capa de media agua con déficit de oxígeno ( $< 0.5$  ml/l) denominada Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO). En muchas regiones del planeta, la profundidad de esta capa se ubica entre los 200-1000 m (Levin, 2003) y tiende a ser más profunda a mayores latitudes. Sin embargo, a diferencia de variables más ampliamente medidas como la temperatura o el oxígeno en la superficie, los cambios en la posición vertical de la capa de mínimo oxígeno y su relación con las fluctuaciones en la dinámica del océano no están bien estudiados, especialmente para zonas como la Península de Baja California.

A partir de los escasos datos que existen para algunas regiones, recientemente se ha detectado una tendencia a la disminución del oxígeno disuelto a profundidades intermedias de la columna de agua (Bograd *et al.*, 2008), equivalente a un desplazamiento del límite superior de la ZMO hacia menores profundidades o a una expansión de la ZMO, tanto en el Pacífico tropical (Stramma

*et al.*, 2008) como en el Pacífico subártico (Whitney *et al.*, 2007). También se ha observado un incremento estacional y recurrente de anomalías de hipoxia en zonas costeras frente a Oregón y Washington (EUA) durante los últimos años (Grantham *et al.*, 2004; Chan *et al.*, 2008), asociadas a mortandades masivas de peces bentónicos, cangrejos y otros componentes de la fauna marina (Gewin, 2010). Estos cambios en las concentraciones de oxígeno disuelto están posiblemente asociados con cambios ambientales acelerados en la dinámica del océano.

Además del cambio climático o los eventos de hipoxia, existen otras fuentes de variabilidad ambiental que podrían estar generando respuestas diferenciales en las poblaciones debidas a la biología de cada especie. Uno de estos factores podría ser el cambio en la abundancia de macroalgas que se supone constituyen el principal alimento de los abulones. Al respecto Tegner *et al.* (2001) asocian la disminución de *Macrocystis pyrifera*, debida a la falta de nutrientes durante eventos fuertes de El Niño, con la disminución del reclutamiento en abulón rojo (*H. rufescens*) propiciada por la falta de alimento disponible. También, en condiciones de laboratorio se observó que la cantidad de alimento afecta el crecimiento y reproducción de abulón azul (Vilchis *et al.*, 2005). El presente estudio pretende identificar cuáles son los factores biológicos, ecológicos o ambientales que generan diferencias en el cambio histórico de las poblaciones de abulón azul y amarillo en la Costa Occidental de la Península de Baja California.

## **JUSTIFICACIÓN**

A pesar de importantes esfuerzos de manejo, las pesquerías comerciales de abulón en California fueron cerradas en 1997 debido al colapso de sus poblaciones objetivo. Si bien en México la pesquería se mantiene activa y está sometida a un manejo constante, las poblaciones de abulón en la costa occidental de la Península de Baja California también han presentado una fuerte disminución en sus abundancias, particularmente el abulón amarillo. A pesar de que las cuotas de captura se calculan anualmente para cada una de las especies en función de su abundancia, la diferenciación entre especies no va más allá en las medidas de manejo a pesar de las claras diferencias observadas en sus capturas. Debido a lo

anterior resulta importante comprender que factores, además de la pesca, podrían explicar las fluctuaciones que afectan las poblaciones de abulón y su uso sustentable.

## **HIPÓTESIS**

Dado que las series de captura de las dos principales especies involucradas en la pesquería de abulón en México presentan comportamientos históricos diferentes, a pesar de que los esquemas de manejo de la pesquería, el precio y la preferencia del mercado de ambas especies son muy similares, se espera entonces que existan otros factores (ambientales, ecológicos o biológicos) que hayan influenciado los cambios de distribución y abundancia en las poblaciones de abulón en la Península de Baja California.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Identificar los cambios históricos de las poblaciones de abulón amarillo y azul en la costa occidental de la Península de Baja California, y determinar cuáles son los factores biológicos y ambientales que determinan su distribución y abundancia.

### **Particulares**

- Identificar los cambios en las poblaciones de abulón azul y amarillo en el periodo de 1970 a 2012 en la costa oriental de la Península de Baja California.
- Comparar la distribución actual de las poblaciones de abulón azul y amarillo con las reportadas en 1970, para detectar cambios en el límite de distribución sur como un indicador de sensibilidad al cambio climático.
- Comparar la ecofisiología (sensibilidad a la temperatura, oxígeno y alimentación) de las especies de abulón azul y amarillo para detectar aquellas características que puedan explicar las diferencias en el comportamiento histórico de las abundancias.



- Comparar la estructura comunitaria de macroinvertebrados con los patrones de distribución y abundancia de abulón amarillo y azul para determinar posibles asociaciones que expliquen las diferencias históricas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de Estudio**

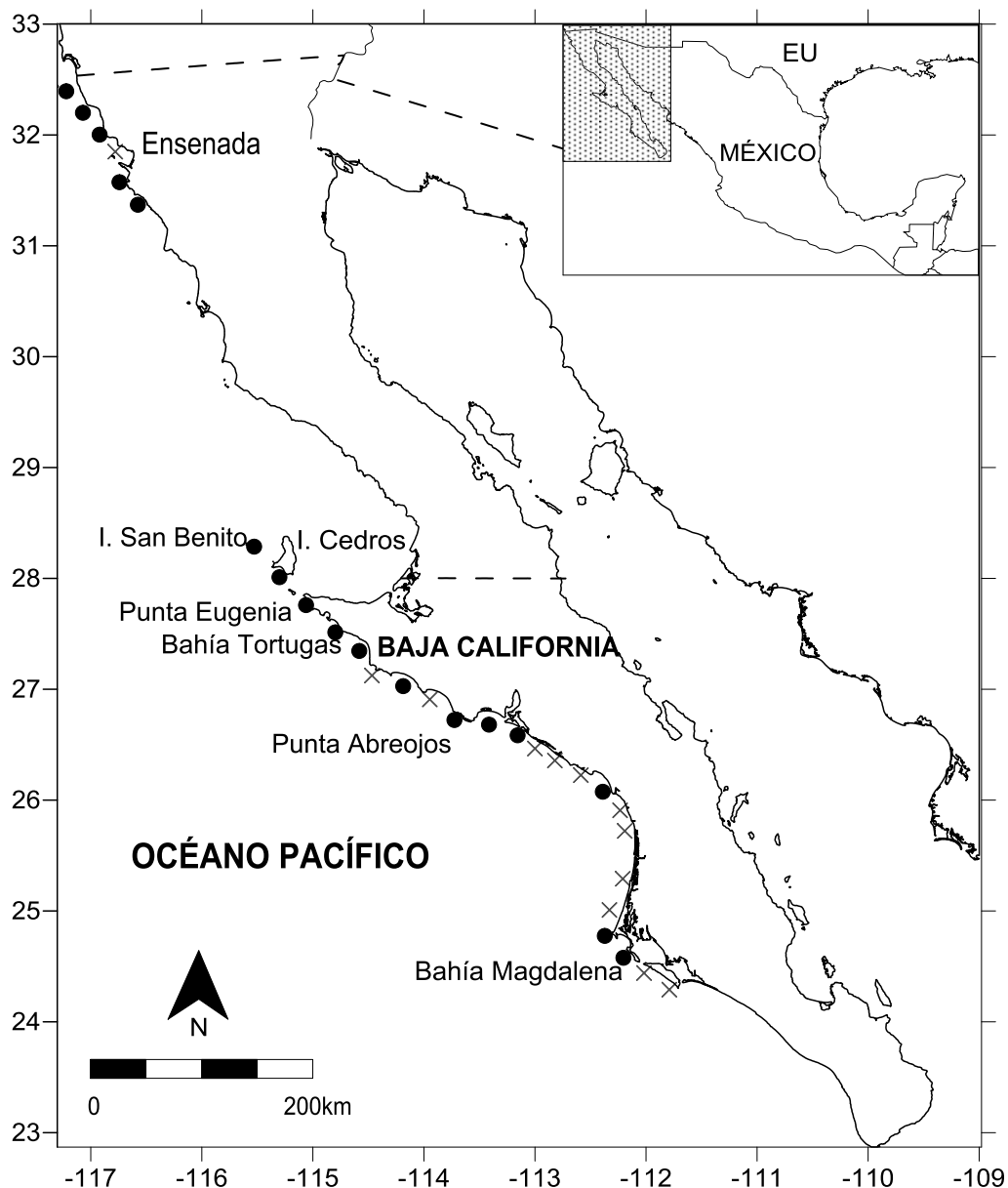
El área de estudio comprende la zona submareal hasta los 20 m de profundidad de la costa Occidental de la Península de Baja California, desde la frontera con Estados Unidos en el límite norte (32° 31' N, 117°08' W) hasta Isla Margarita al sur de Bahía Magdalena (24°17' N, 111°42' W; Figura 2). La región cuenta con una amplia diversidad de ecosistemas marinos habitados por especies tropicales, templadas y de transición templado-tropical. La zona presenta procesos oceánicos conocidos como surgencias que contribuyen a mantener una alta productividad primaria y, en algunos puntos de la costa, derivado de la estructura topográfica, durante casi todo el año (Lluch-Belda *et al.*, 2000).

En general, el ambiente marino de costa noroeste de la Península de Baja California está determinado por la interacción de las Corriente de California, el sistema de vientos y la topografía submarina (Hewitt, 1981). En particular, la parte correspondiente al estado de Baja California Sur es la zona de transición templado-tropical, donde existe un gradiente estacional importante debido a la influencia de la Corriente de California y la Noroecuatorial; la primera impone características templadas durante el invierno-primavera y la segunda las tropicales durante el verano-otoño.

En la zona persiste variabilidad a diferentes escalas, desde semanas hasta décadas, evidenciadas en variables físicas como la temperatura del mar, nivel medio de mar, actividad de surgencias y los patrones de circulación (Chelton, 1981; Lluch-Belda, 1999). Entre los principales factores físicos causantes de tal variabilidad se han mencionado a los eventos del ciclo El Niño Oscilación del Sur (ENSO), con su fase cálida (El Niño; Wooster, 1985) y fría La Niña (Philander, 1985), los

calentamientos de latitudes medias, los cambios decadales (cambio de régimen; Chávez *et al.*, 2003, Lluch-Belda *et al.*, 1989). Esta variabilidad en el ambiente afecta a los sistemas biológicos a distintos niveles (Roemich y McGowan, 1995; Polovina, 1996).

A pesar de que el sistema en su conjunto presenta esta alta variabilidad estacional e interanual, a nivel local existen algunas regiones de la costa que mantienen condiciones ambientales y de productividad primaria mucho menos variables que el resto de la costa. Estos sistemas, reconocidos como Centros de Actividad Biológica (Lluch-Belda *et al.*, 2000), generalmente albergan centros de distribución de especies pelágicas, como la sardina, donde a diferencia del resto de la costa se registran desoves todo el año y relativamente constantes entre años, incluso ante variaciones ambientales como el ENSO o los calentamientos de latitudes medias (Lluch-Belda *et al.*, 2003a)



**Figura 2.** Zona de estudio y ubicación de los puntos de muestreo. Los puntos representan las estaciones donde se encontró fondo rocoso y que fueron empleadas para el presente estudio. Las cruces representan sitios con fondos arenosos que fueron excluidas del análisis, pero se reportan en el Anexo 1.

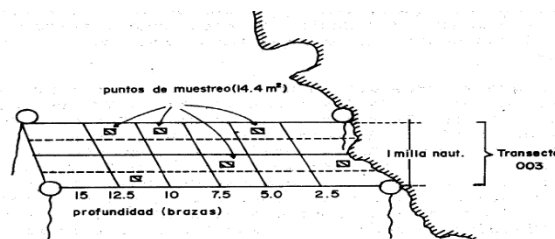
### Trabajo de campo

El trabajo de campo fue realizado entre los meses de octubre de 2011 y febrero de 2012, bajo el amparo del Permiso de Pesca de Fomento DGOPA 03027.290411,-173 expedido por la SAGARPA. El muestreo se realizó como parte del proyecto SAGARPA-CONACyT: Recursos pesqueros masivos ante el cambio climático, con

el objetivo de comparar los resultados con el estudio de prospección de abundancia de abulón realizado por personal del entonces Instituto de Pesca, hoy INAPESCA, en los años de 1969-70.

El estudio original consistió en el conteo y medición de abulones desde el nivel de bajamar hasta los 25 metros de profundidad, mediante transectos de una milla (1,852 m) de ancho, perpendiculares a la costa y distribuidos de manera aleatoria a lo largo del área de distribución natural del Abulón (Guzmán del Proó *et al.*, 1972). Debido a limitantes logísticas, en el presente trabajo se emplearon transectos distribuidos de manera sistemática (cada 25 km aproximadamente) y buscando en lo posible sitios coincidentes con el estudio de 1970. En ambos casos el tamaño de muestra se basó en la metodología de Guzmán del Proó *et al.* (1972) y consistió en el conteo y medición de los abulones en una cuadrante de 14.4 m<sup>2</sup> distribuidos de manera aleatoria en una cuadrícula obtenida de la división del transecto en seis estratos de profundidad paralelos a la costa y cuatro divisiones de 0.25 millas (463 m) paralelos al transecto (Figura 3).

Aunado al conteo de abulones, se realizó una recolecta de macroinvertebrados bentónicos en cuadrantes de 1x1 m para cubrir un área total de 6 m<sup>2</sup> por transecto. Se midió la temperatura superficial, salinidad y oxígeno disuelto con ayuda de una sonda multiparámetros RVR y adicionalmente se tomó registro fotográfico y de video del área muestreada. Para el censo de abulones y recolecta de invertebrados, se empleó equipo de buceo autónomo tipo scuba y se contó con la ayuda de embarcaciones prestadas o rentadas por las cooperativas pesqueras de cada localidad.



**Figura 3.** Diseño de muestreo de los transectos (Guzmán de Proó *et al.*, 1972).

### **Cambios históricos de las poblaciones de abulón.**

La metodología general para la búsqueda de cambios históricos consistió en dos partes. Por un lado, la recopilación de los datos históricos de captura y/o abundancias de las diferentes especies y, por otro, la comparación de abundancias del censo realizado en 1970 y el actual de 2011.

Los datos de captura de las pesquerías de abulón por especie se obtuvieron a partir de la digitalización de un reporte del INAPESCA (Sierra *et al.*, 1998) y se completaron con los registros de los anuarios estadísticos de pesca de los últimos 10 años. Los datos de las series de capturas de las pesquería de California fueron obtenidos de los boletines de captura del Department of Fish and Game (DFG) [1916-1983] y la base de datos de descargas comerciales de la DFG (1984-2000; Haaker *et al.*, 2004). Para facilitar la comparación, las series de captura fueron estandarizadas al valor del máximo histórico de cada especie, donde el 1 representa el máximo histórico y el 0 la ausencia de captura. Se compararon las series históricas de captura con series de temperatura global y los índices ambientales de oscilación decadal del pacífico (PDO) e índice multivariado del Niño oscilación del sur (MEI) para detectar correspondencias.

Por otro lado, a partir de los datos generados en el trabajo de campo se compararon datos de presencia/ausencia para detectar nuevas zonas con presencia de abulón y/o zonas donde éste hubiera desaparecido respecto al muestreo de hace 45 años.

Para observar cambios latitudinales en la distribución de las poblaciones de abulón en los últimos cuarenta años se contrastaron las abundancias en número de individuos por transecto (mismas coordenadas en 1970 y 2011) para determinar si existen cambios en la abundancia que reflejen un desplazamiento latitudinal o tendencias.

## **Diferencias fisiológicas y biológicas de abulón azul y amarillo**

Se realizó una revisión bibliográfica para recopilar la información existente sobre la fisiología y biología de las poblaciones de abulón azul y amarillo para caracterizar a cada una de estas.

Con el fin de cubrir información faltante de dos elementos que consideramos posibles factores para explicar las diferencias históricas, se desarrolló un experimento de límites de tolerancia a hipoxia por especie para determinar la sensibilidad de cada especie ante eventos naturales de este tipo. Así mismo se determinaron las diferencias en alimentación entre especies a nivel de señal isotópica.

### **Tolerancia a hipoxia**

El experimento de límites de tolerancia a hipoxia se realizó en las instalaciones de producción de semilla de abulón de la Cooperativa California San Ignacio, quienes también proporcionaron a los organismos empleados.

Para dicho experimento, se aclimataron durante 24 horas 15 individuos adultos de cada especie (Con pesos promedio de: *H. fulgens*  $720 \pm 219$  gr; *H. corrugata*  $581 \pm 185$  gr) en un tanque de 5,000 L de agua con oxígeno ( $7 \pm 0.5$  mg/l) y temperatura ( $18 \pm 2.3$  °C) ambiente. Se trasladaron 10 organismos de cada especie a un tanque con las mismas dimensiones, en el cual se fue bajando de manera gradual el nivel de oxígeno disuelto mediante la inyección de CO<sub>2</sub> regulada a partir de un sistema electrónico, este último desarrollado en el laboratorio de Ecofisiología de Organismos Acuáticos en el CIBNOR.

El Oxígeno disuelto fue disminuido de manera gradual desde 5.5 mg/l hasta menos de 3 mg/l (límite considerado para determinar que se tiene condiciones de hipoxia; Vaquer Sunier y Duarte, 2008) en un lapso de 8 horas y se mantuvo así durante 6 horas, para después iniciar una nueva disminución hasta 0.6 mg/l en 2 horas. Cada hora se fue registrando el número de individuos por especie que se deprendían de la superficie del tanque, como un indicativo de respuesta a hipoxia.

## Diferencias en alimentación

Para detectar diferencias en la alimentación entre especies, se compararon los valores de isótopos de  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$  de muestras de músculo de abulón, recolectadas durante un ciclo anual en la localidad de la Bocana y durante el mes de octubre de 2012 en Bahía Tortugas.

Durante cada muestreo, un buzo recolectó cinco ejemplares de cada especie a una profundidad cercana a los 8 m. Los sitios fueron elegidos por buzos locales donde sabían que ambas especies estaban presentes. Los organismos fueron transportados en vivo al laboratorio donde se les extrajo una sección 2 g de músculo del pie y se almacenó a  $-54\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta su procesamiento para el análisis de isótopos. Los abulones recolectados variaron desde 100 hasta 180 mm y pesaron entre 108 y 925 g. Adicionalmente a los abulones, se recolectaron ejemplares de pastos marinos (*Phyllospadix torreyi*) y de dos algas pardas (*Macrocystis pyrifera* y *Eisenia arborea*) en los mismos lugares que el abulón capturado en octubre de 2012. Se obtuvieron un total de cuatro muestras de cada especie y se transportaron en una hielera con hielo hasta el laboratorio donde se congelaron a  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta su posterior procesamiento. Se eligieron estas macroalgas y pastos marinos dado que son considerados componentes importantes de la dieta de abulón (Serviere-Zaragoza *et al.*, 1998; Mazariegos-Villarreal *et al.*, 2012).

Los abulones, algas y pastos marinos se descongelaron y enjuagaron con agua destilada antes de su procesamiento. Los organismos epífitos fueron retirados de las láminas de algas con un cepillo. Las muestras de tejido se colocaron en bandejas individuales de aluminio y se secaron a  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 48 h. Posteriormente se molieron, se pesaron y encerrado en cápsulas de estaño.

Las muestras se enviaron a un laboratorio de isótopos estables para el análisis de isótopos  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$ , utilizando un analizador elemental PDZ Europa ANCA-GSL interconectado a un 20-20 radioespectrómetro de masas (PDZ Europa, SERCON, Crewe, Cheshire, Reino Unido). La proporción de  $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$  y  $^{15}\text{N} / ^{14}\text{N}$  para todas las muestras se calculó y se expresa en la notación delta estándar ( $\delta^{13}\text{C}$ ;  $\delta^{15}\text{N}$ ) por mil (‰), utilizando la diferencia entre la muestra y el estándar internacional

reconocido (Pee Dee carbonato de belemnita para el carbono; aire para el nitrógeno) con la fórmula:

$$\delta R = [(X \text{ muestra} / X \text{ estándar}) - 1] \times 1,000 \text{ ‰}, \quad (1)$$

donde R =  $^{13}\text{C}$  o  $^{15}\text{N}$  y X =  $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$  o  $^{15}\text{N} / ^{14}\text{N}$ .

Se empleó la prueba de ANOVA por rangos de Kruskal-Wallis para probar las diferencias entre los valores de isótopos por especie de abulón y de los productores primarios (*M. pyrifera*, *E. arborea*, y *P. torreyi*), tanto entre ellos como entre localidades. Se utilizó el mismo análisis para detectar diferencias en los valores de isótopos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  entre especies de abulones y las fechas de colecta.

### **Patrones ecológicos**

Para determinar patrones de asociación entre la estructura de la comunidad bentónica y las abundancias de abulón, se emplearon las abundancias por especie de macroinvertebrados recolectadas durante los censos de abulón.

La identificación de los organismos se realizó hasta el menor nivel taxonómico posible con ayuda de literatura especializada (Gotshall, 2005; Lamb y Hanby, 2005; Lambert y Austin, 2007; Abbott, 1974; Keen, 1971; Morris, 1966). Todos los taxa identificados fueron corroborados y actualizados usando la base de datos de World Register of Marine Species WoRMS (2015).

Se emplearon únicamente los datos de las localidades asociadas a fondos rocosos, ya que son los sitios donde se puede observar la presencia de abulón. La base de datos final consistió de un total de 17 transectos que van desde Ensenada hasta Bahía Magdalena (Figura 2).

Para identificar regiones con comunidades bentónicas similares, se transformaron las abundancias por el método de raíz-raíz, para reducir la contribución de las especies muy abundantes e incrementar la de las especies raras. Los datos transformados se emplearon para construir una matriz de similitud utilizando el coeficiente de similitud de Bray-Curtis y un análisis de cluster mediante ligamiento promedio. Una prueba SIMPROF con 10000 permutaciones fue



empleada para identificar estructuras de grupos significativas a un nivel de 0.5% en el dendograma del cluster.

Se empleó un análisis SIMPER (Similarity Percentages-species contributions) para determinar la disimilitud promedio entre las agrupaciones significativas del cluster y las especies más representativas de estos grupos. Además, se calcularon los promedios de riqueza, abundancia (No. org\*m<sup>-2</sup>) y diversidad  $\alpha$  de Fisher, para cada uno de los grupos encontrados. Todos los análisis se llevaron a cabo con el software PRIMER (versión 6.1.12).

Se comparó la distribución de los grupos encontrados con las abundancias de abulón observadas para detectar similitudes.

Finalmente, se calculó la proporción de especies compartidas que tienen una mayor abundancia promedio en la región central, en comparación a la región sur y centro, para conocer cuántas especies tiene una mayor abundancia en la región central comparadas con las mismas especies en otras regiones.

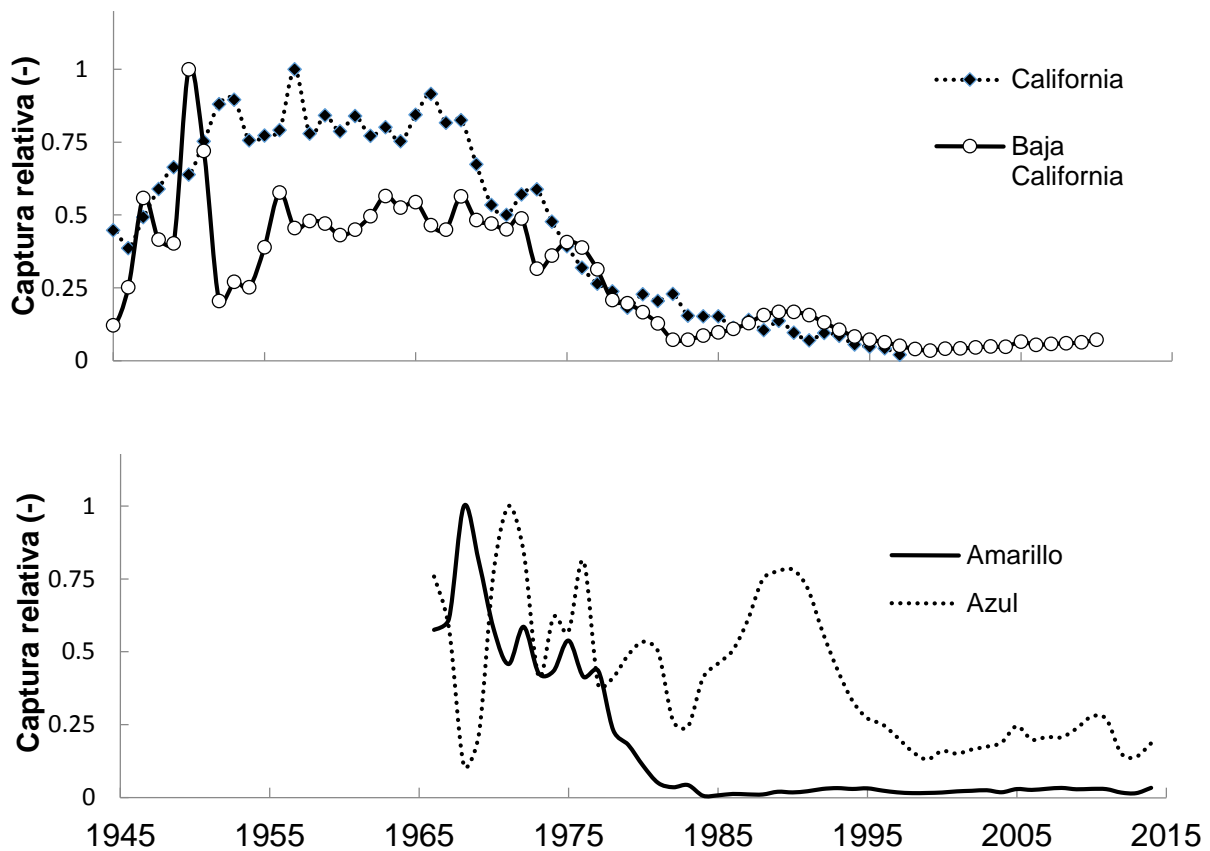
## **RESULTADOS**

### **Cambios históricos**

En la Figura 4 se presentan las series de captura de abulón por especie, estandarizadas a su máximo histórico para las pesquerías de México (Península de Baja California) y Estados Unidos (California). En las capturas totales se aprecian comportamientos similares a pesar de que en Estados Unidos la pesquería se basó en abulón Rojo (*H. rufescens*) y abulón amarillo (*H. corrugata*) como segunda especie importante, mientras que en México la pesquería se ha basado en abulón amarillo y azul (*H. fulgens*) como segunda especie.

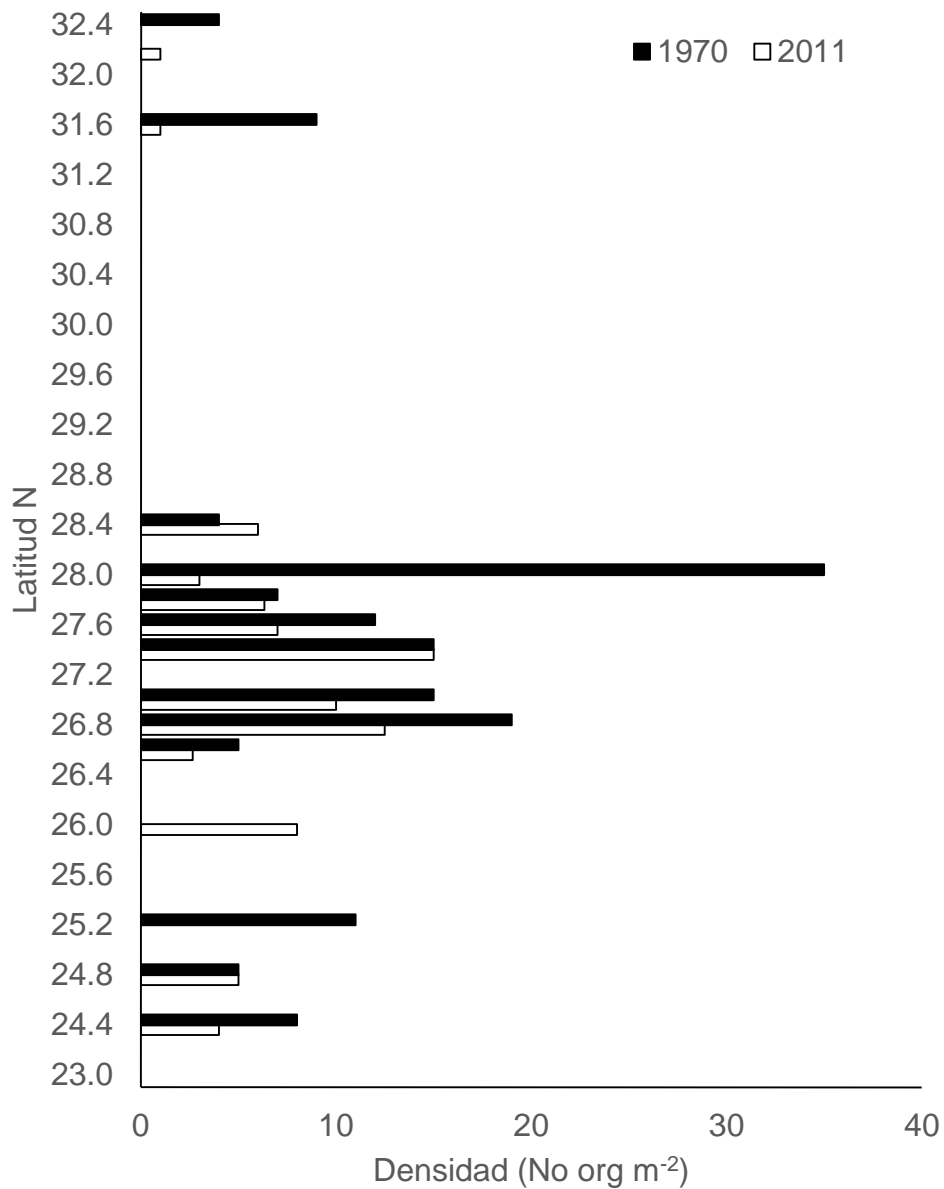
Se logra apreciar el periodo de crecimiento de la pesquería mexicana hasta el máximo histórico en 1950, seguido de un periodo relativamente estable de capturas hasta mediados de la década de 1970, cuando inicia una tendencia a la baja. Al separar las capturas por especies se observa que la fuerte caída a mediados de los setentas ocurrió en el abulón amarillo, mientras que el abulón azul presenta

importantes fluctuaciones con una ligera tendencia al incremento en los últimos años.



**Figura 4.** Series de tiempo de capturas estandarizadas. En el panel superior se muestran las capturas totales de las pesquerías de California, EU y la Península de Baja California, México; el panel inferior muestra las capturas de abulón Amarillo y Azul de la Península de Baja California.

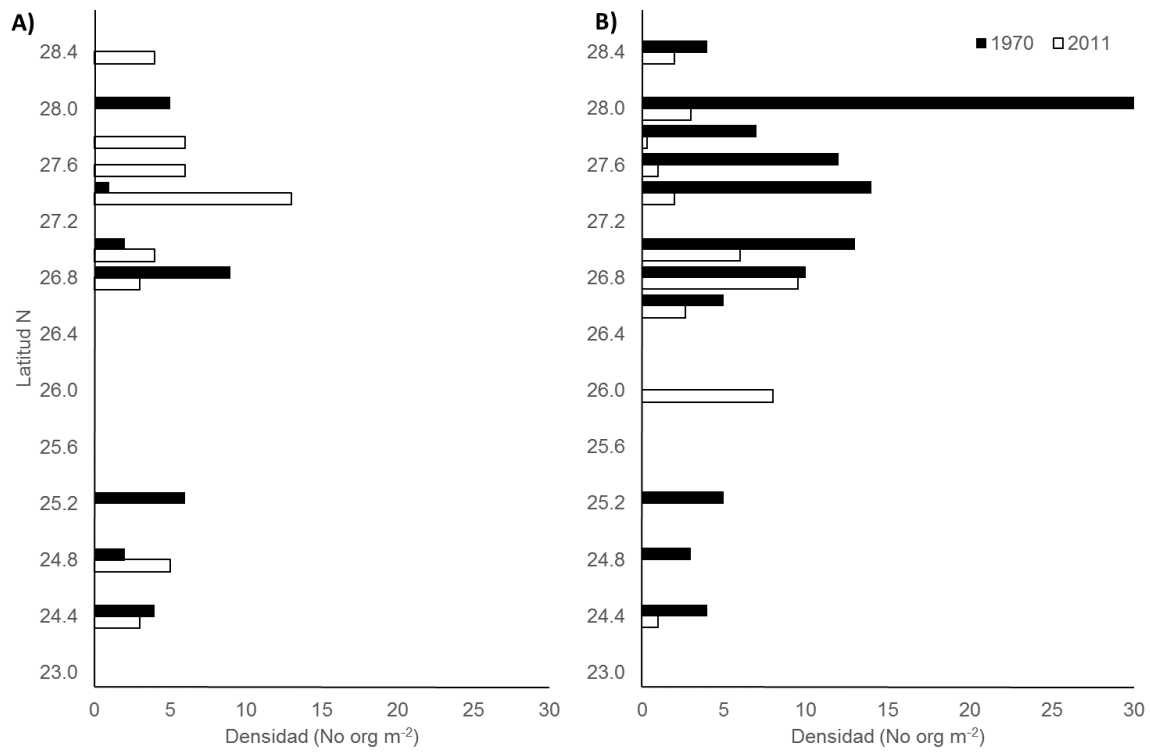
Al realizar la comparación de los valores de abundancias entre 1970 y 2011 se observa en general una reducción el número de bancos (zonas) con presencia de abulón en comparación con 1970. Sin embargo, el límite sur continúa siendo el mismo para ambas especies (Figura 5).



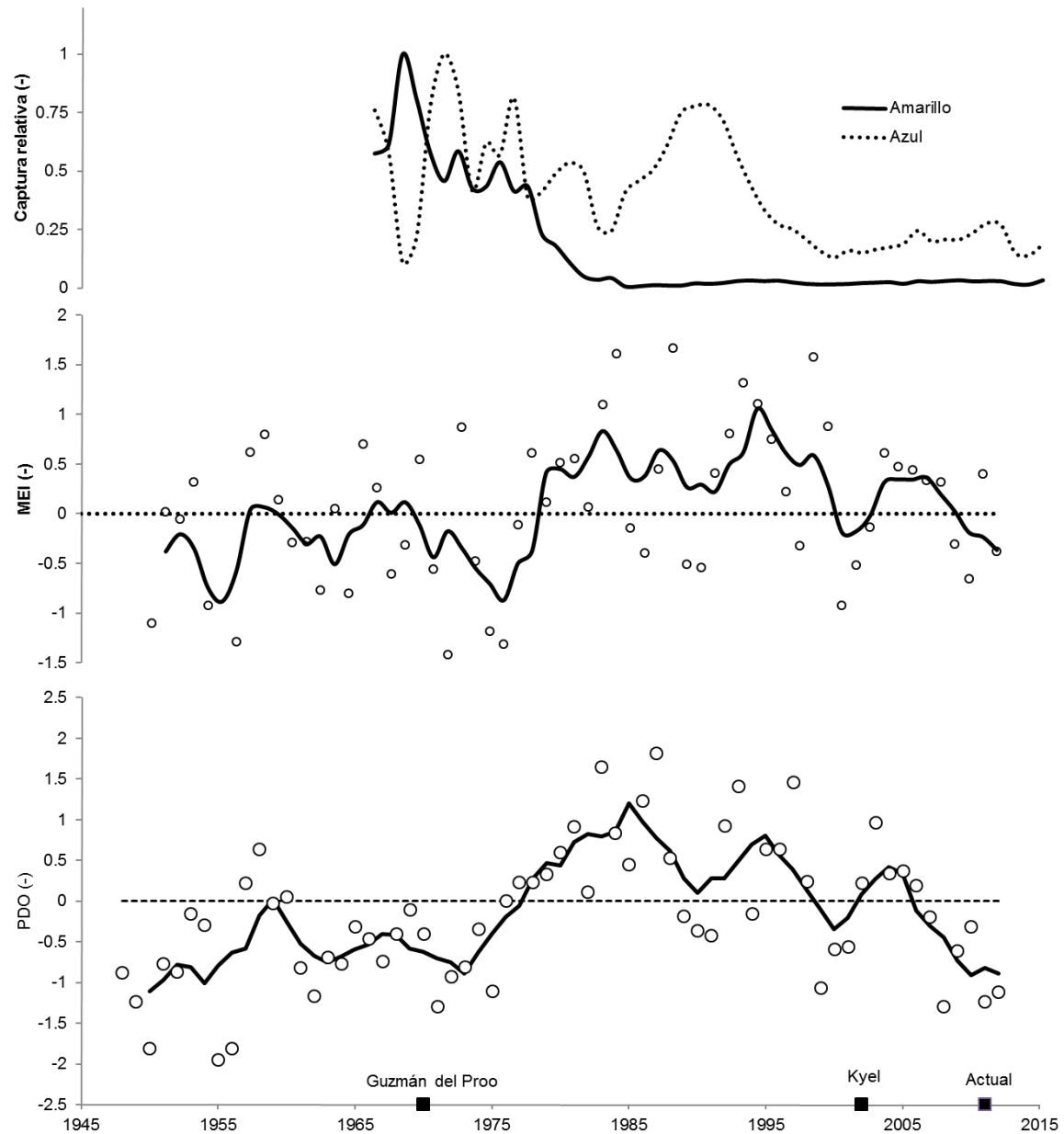
**Figura 5.** Comparación de las densidades totales de ambas especies de abulones (*H. fulgens* y *H. corrugata*) entre 1970 y 2011.

La comparación por especies muestra una alternancia entre el abulón amarillo y azul, resultado de una mayor disminución en las abundancias de abulón amarillo en comparación con las del azul (Figura 6) dando como resultado una clara

dominancia actual del abulón azul, excepto en la región centro sur, desde la Bocana hasta las Barrancas, donde el abulón azul es menos dominante.



**Figura 6.** Comparación espacial de las especies de abulón azul y amarillo en 1970 y 2011. A) Abulón azul; B) Abulón Amarillo.



**Figura 7.** Series de captura e índices ambientales del PDO y el MEI. Arriba se muestran las series de captura de abulón azul y amarillo en México, relativas a su máximo histórico, en medio el MEI y abajo el PDO anualizado. Los círculos representan el valor anualizado de cada índice y la línea continua representa el promedio móvil centrado de cinco años, los cuadros presentan el año en que fueron obtenidos los datos de los trabajos de Guzmán del Proo *et al.* (1976), Kyel (2004) y el actual.

La Figura 7 muestra que no existe relación evidente entre las capturas de abulón y los índices ambientales de PDO y MEI. Además de haber probado diferentes tipos de correlaciones y retrasos en tiempo, se actualizó un modelo

pesquero del año 2000 donde se asocia las estimaciones de abundancia del abulón amarillo y sus capturas con el PDO (Kyel, 2004). El principal resultado es que con el uso de los datos actualizados se pierde la calidad del ajuste previamente reportado.

### **Diferencias fisiológicas y biológicas entre especies**

En la Tabla I se comparan algunas de las principales características fisiológicas entre el abulón azul y el amarillo. Se aprecia una importante similitud entre ambas especies, las cuales cohabitan en ambientes similares y presentan una distribución batimétrica con una importante sobreposición. De acuerdo a modelos basados en anillos de crecimiento, abulón amarillo es una especie con un a talla máxima 4.5 mm menor que el azul, pero más longeva y por tanto con una tase de crecimiento menor.

No se observan diferencias claras en cuanto a reproducción ya que ambos organismos presentan ovocitos maduros durante todo el año y al parecer tanto la proporción de sexos (Guzmán del Proó y Castro, 1976; Andrade, 1980) como la fecundidad varía entre zonas.

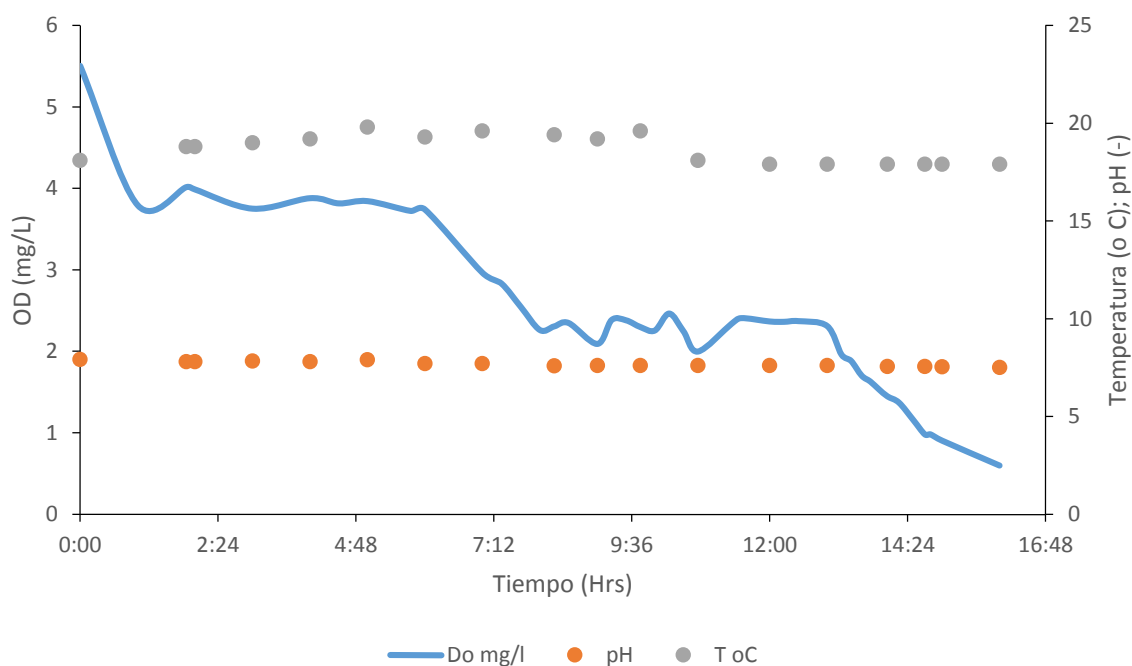
Los rangos de temperatura, tanto óptimos de crecimiento, como preferenciales son muy similares, solamente la temperatura crítica máxima presenta una diferencia de 1.4 °C entre especies.

**Tabla I.** Comparación de parámetros fisiológicos y biológicos entre abulón azul y amarillo.

	<b>Abulón azul (<i>Haliotis fulgens</i>)</b>	<b>Abulón amarillo (<i>Haliotis corrugata</i>)</b>	<b>Referencias</b>
<b>Longevidad</b>	21 años	25 años	Muñoz (1976); Turrubiates Castro (1992)
<b>Talla máxima</b>	179.5 mm	175.0 mm	Muñoz (1976); Turrubiates Castro (1992)
<b>Distribución batimétrica</b>	0 - 24 m	7 - 44 m	INP (2000)
	0 – 18 m	0 – 60 m	California Department of Fish and Game(2005)
<b>Profundidad de mayor abundancia</b>	1.5 - 9.0 m	8.0-28 m	INP (2000)
	8 - 15	10 – 20 m	Guzmán del Proó (1992)
<b>Alimentación Natural juveniles</b>	Dominancia de <i>Macrocystis pirifera</i> y otras algas coralinas rojas y pasto marino	No se conoce	Serviere <i>et al.</i> (1998)
	Presencia de diatomeas	Presencia de diatomeas	Siqueiros Beltrones <i>et al.</i> (2005)
<b>Crecimiento</b>	21.5 $\mu\text{m día}^{-1}$ - 45.9 $\mu\text{m día}^{-1}$ - 2.2 $\text{mg día}^{-1}$ - 6.7 $\text{mg día}^{-1}$	9.4 $\mu\text{m día}^{-1}$ – 14.7 $\mu\text{m día}^{-1}$ – 0.77 $\mu\text{m día}^{-1}$ –1.18 $\mu\text{m día}^{-1}$	Serviere <i>et al.</i> (2000) Serviere <i>et al.</i> (2009)
<b>Madurez gonádica</b>	Ovocitos maduros todo el año con ligero aumento de septiembre a diciembre.	Ovocitos maduros todo el año	Vélez-Arellano Com. pers.
<b>Talla de primera madurez</b>	116-150 mm Mayor en el norte que en el sur	110-140 mm Mayor en el norte que en el sur	Lelevier <i>et al.</i> (1989) Guzman del Proó (1980) Vega Michel (1992) León y Ceseña (1988) Luna (1993)
<b>Fecundidad</b>	2 millones Variable entre localidades	3.8-9.5 millones de huevos	Gonzáles y Ortíz (1986)
<b>Estructura genética</b>	Existe conectividad genética en la región central de la península	2 millones Existe conectividad genética a lo largo de toda la península	Vélez-Arellano Com. pers Díaz Villoria <i>et al.</i> (2009) Zuñiga <i>et al.</i> (2000)
<b>Temperatura preferencial</b>	25.4 °C	25.0 °C	Díaz <i>et al.</i> (2006)
<b>Temperatura óptima</b>	24.6 °C	25.5 °C	Díaz <i>et al.</i> (2006)
<b>Temperatura c<sub>t</sub>max 50%</b>	33.6 °C	32 °C	Díaz <i>et al.</i> (2006)

## Hipoxia

En la Figura 8 se muestra la curva de oxígeno disuelto en el tiempo al que fueron sometidos los adultos de abulón azul y amarillo. Ambas especies mostraron una alta tolerancia a la hipoxia, con un solo organismo de abulón amarillo desprendido a las 13:45 hrs y 1.6 mg/L y uno de azul a las 14:15 1.3mg/L. Ambos organismos se recuperaron totalmente al retornarse a condiciones normales de oxígeno. No fue posible determinar el límite de tolerancia a hipoxia para ninguna de las dos especies en el tiempo de duración del experimento, a pesar de haber bajado hasta  $0.6\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ .



**Figura 8.** Curva de concentración de oxígeno en el tiempo durante el experimento de hipoxia al que se sometieron individuos adultos de abulón azul y abulón amarillo en el presente trabajo.

## Alimentación

En la Figura 9 se muestran los resultados del análisis espacial de isótopos estables de Carbono y Nitrógeno en músculo de abulón en Bahía Tortugas y la Bocana. Cuando comparamos entre localidades, encontramos diferencias estadísticas en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  (Kruskal–Wallis test,  $H = 14.285$ ,  $p = 0.000$ ) mientras que los valores

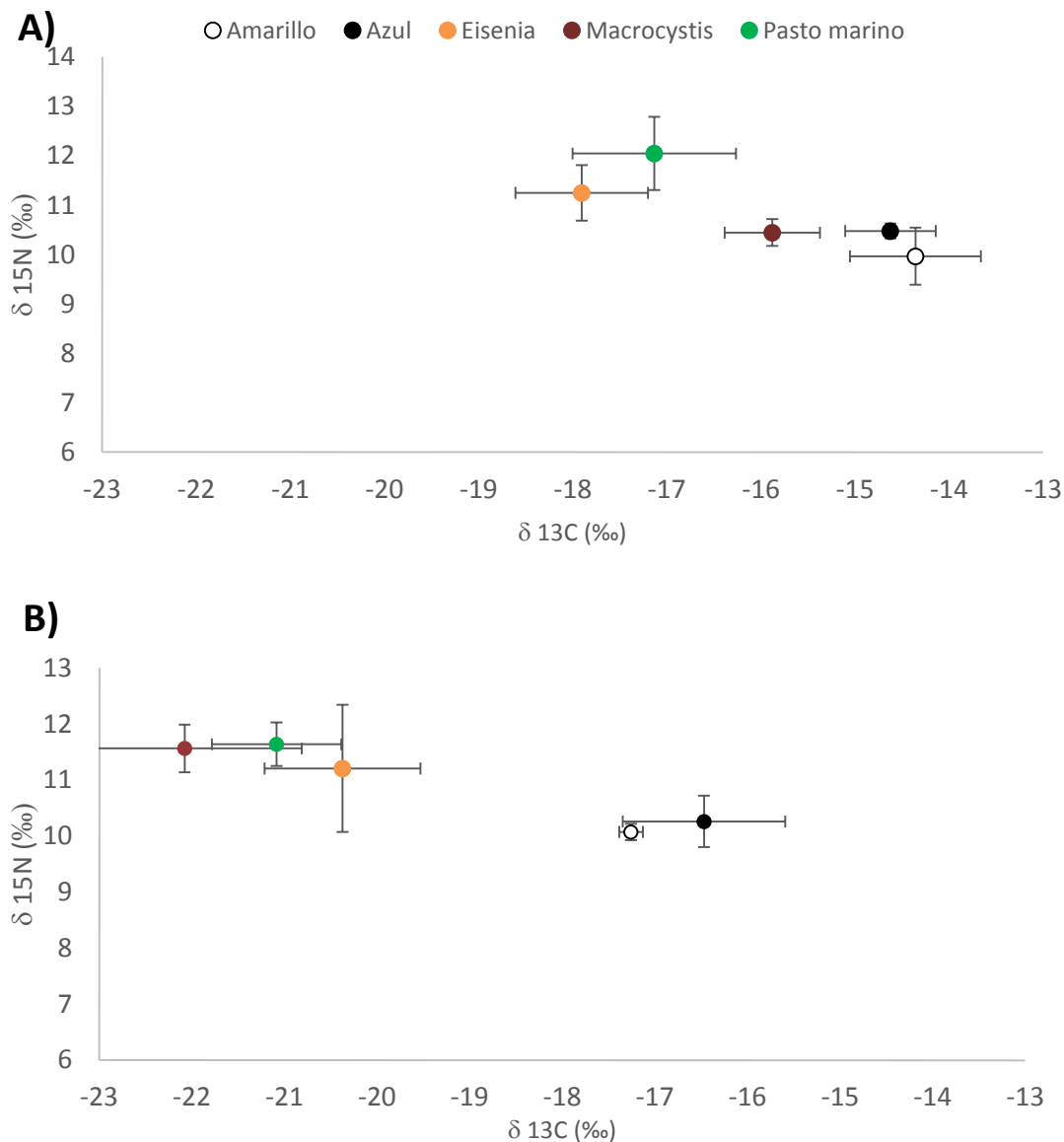


de  $\delta^{15}\text{N}$  no mostraron diferencias (Kruskal–Wallis  $H = 0.4628$ ,  $p = 0.4963$ ). Lo mismo ocurrió en el caso de los productores primarios, que presentaron diferencias en  $\delta^{13}\text{C}$  (Kruskal–Wallis,  $H = 17.280$ ,  $p = 0.000$ ) y valores de  $\delta^{15}\text{N}$  sin diferencias significativas ( $H = 0.963$ ,  $p = 0.326$ ).

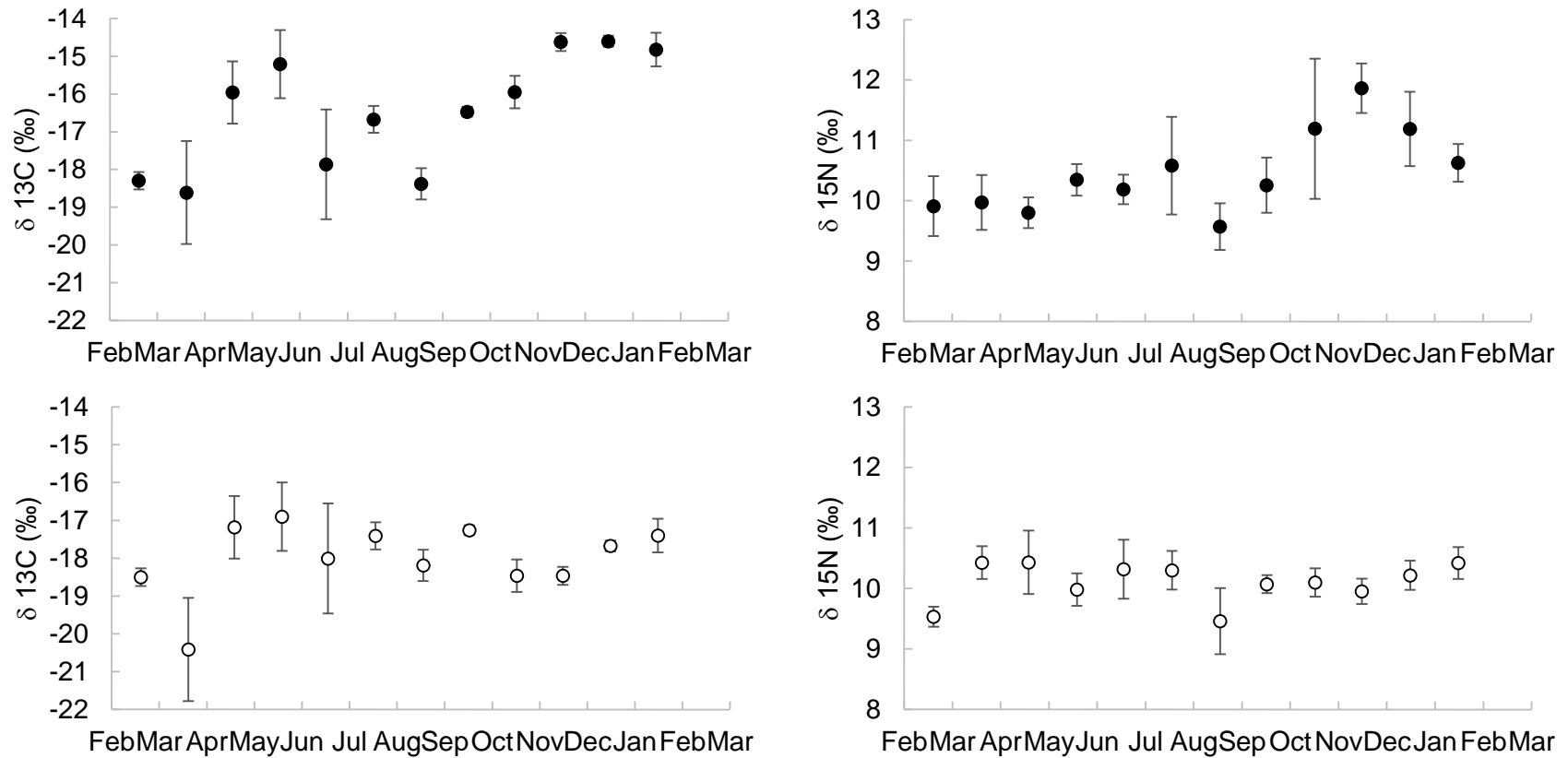
Una observación importante para ambas localidades fue que la señal de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $\sim 10\text{‰}$ ) se encuentra por debajo de la señal de nitrógeno de las macroalgas ( $10\text{--}12\text{‰}$ ), que se asumen como su principal fuente de alimento. La señal de  $\delta^{13}\text{C}$  del abulón estuvo más cerca de la de las macroalgas en Bahía Tortugas que en La Bocana; sin embargo, las diferencias entre ambos sitios fueron mayores que las esperadas por fraccionamiento de la fuente al consumidor (Figura 9).

El análisis temporal mostro diferencias entre especies tanto para  $\delta^{13}\text{C}$  como para  $\delta^{15}\text{N}$  (Kruskal–Wallis  $H = 23.208$   $p = 0.000$  para  $\delta^{13}\text{C}$ ;  $H = 4.879$   $p = 0.027$  para  $\delta^{15}\text{N}$ ). De manera similar, al menos un mes resultó ser diferente tanto para  $\delta^{13}\text{C}$  como  $\delta^{15}\text{N}$  para ambas especies de abulón (Azul: Kruskal–Wallis  $H = 39.629$   $p = 0.000$  para  $\delta^{13}\text{C}$  ;  $H = 29.425$   $p = 0.002$  para  $\delta^{15}\text{N}$ ; Amarillo: Kruskal–Wallis  $H = 47.503$   $p = 0.000$  para  $\delta^{13}\text{C}$ ;  $H = 38.831$   $p = 0.000$  para  $\delta^{15}\text{N}$ ).

El  $\delta^{15}\text{N}$  en abulón azul presentó un marcado patrón estacional, con menor contenido al final de la primavera y principios de verano y un contenido alto durante el invierno. Por el contrario, la señal del abulón amarillo resultó casi constante durante el año. Para el caso del  $\delta^{13}\text{C}$  ambas especies mostraron un comportamiento similar en variabilidad y sin un patrón estacional (Figura 10).



**Figura 9.** Promedio ( $\pm 1$  SD) de valores de isótopos estables de  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$  (‰) de abulón y sus fuentes de alimentación conocidas, en las localidades de A) Bahía Tortugas y B) La Bocana. Abulones: Amarillo (*H. corrugata*) Azul (*H. fulgens*); Algas cafés: *Eisenia* (*Eisenia arborea*) y *Macrocyctis* (*Macrocyctis pyrifera*); Pasto marino: (*Phyllospadix torreyi*).



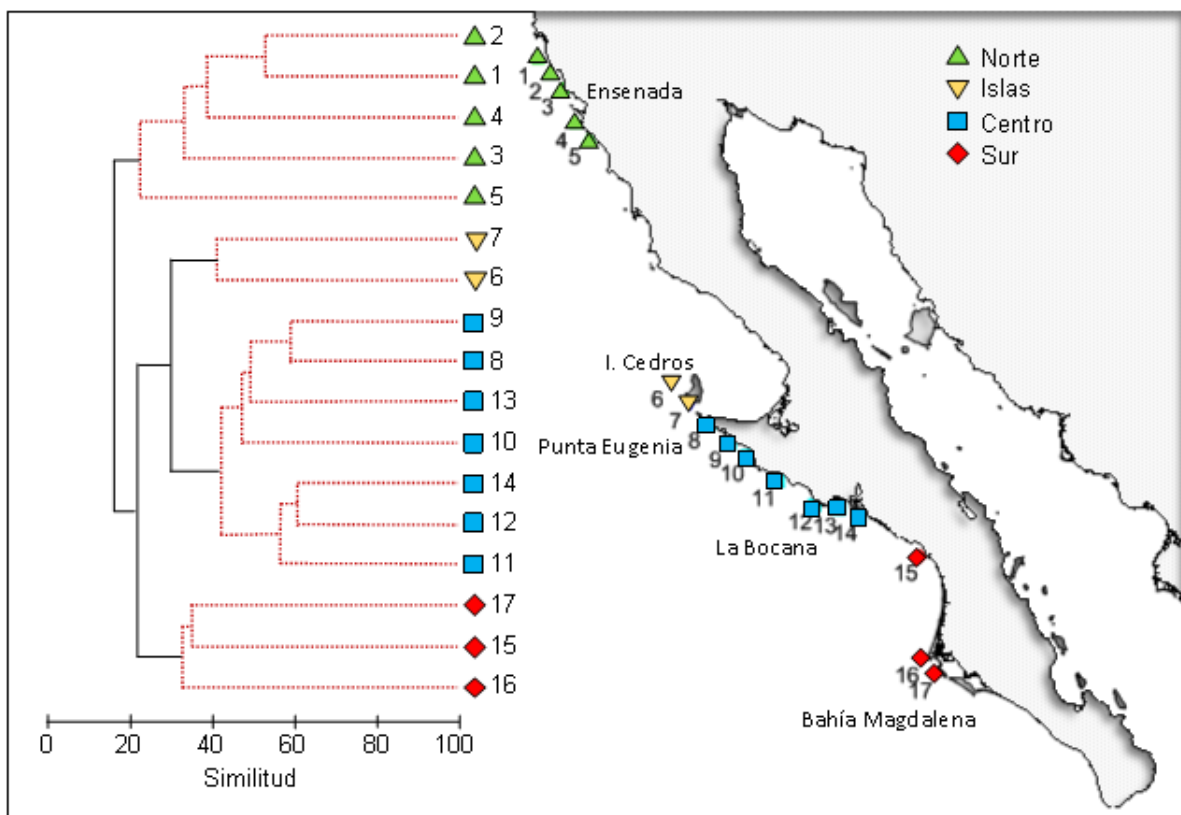
**Figura 10.** Ciclo anual de isótopos estables de  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$  del músculo de abulón amarillo y azul en la localidad de la Bocana. Círculos rellenos: abulón azul; círculos blancos: abulón amarillo; Barras representan  $\pm 1$  desviación estándar.

### **Comunidad bentónica**

Se registró un elenco total de 105 especies de invertebrados bentónicos en las 17 localidades incluidas en el análisis. De estas, 60 especies son moluscos que pertenecen a 12 ordenes, 36 familias y 52, géneros; 33 son equinodermos distribuidos en 14 ordenes, 22 familias y 26 géneros; 3 especies y 9 unidades taxonómicas operacionales de crustáceos que pertenecen a una clase dos órdenes y 5 familias (Anexo 1)

Mediante el análisis de similitud se identificaron cuatro grupos que fueron geográficamente coherentes, y dividen a las comunidades bentónicas de arrecife rocoso a lo largo de la Península en las regiones: a) Norte, que corresponde a las localidades cercanas a Ensenada; b) Centro, entre Punta Eugenia y Punta Abrejos; c) Sur, desde punta abrejos hasta Isla Margarita y d) Islas, que incluye a las Islas de Cedros y San Benito al noreste de Punta Eugenia (Figura 11). La región central presentó la mayor riqueza, abundancia y diversidad (Tabla II). Las islas tienen los más bajos valores para todos los indicadores excepto la similitud.

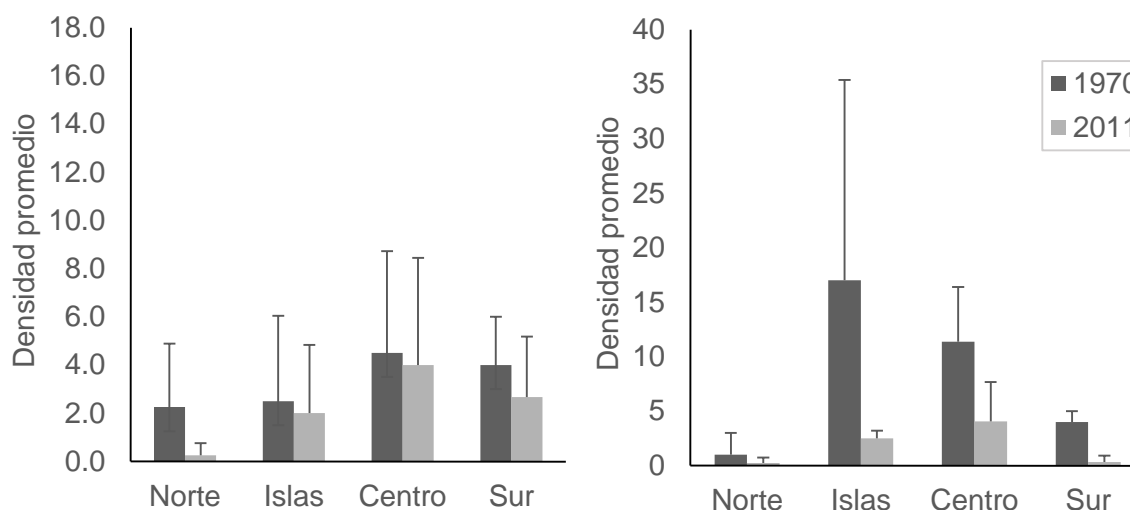
En la Figura 12 se observa una comparación entre la densidad promedio por regiones entre la década de 1970 y el presente estudio. Se aprecia como en ambas épocas la región central presenta mayores abundancias que la región sur y la región norte.



**Figura 11.** Dendrograma y mapa donde se muestran las regiones formadas por el análisis de cluster. Los transectos se numeraron del 1 al 17 de norte a sur. La línea sólida indica estructura de grupos a un nivel de 0.5% de significancia. Regiones analizadas están codificadas por diferentes símbolos y colores.

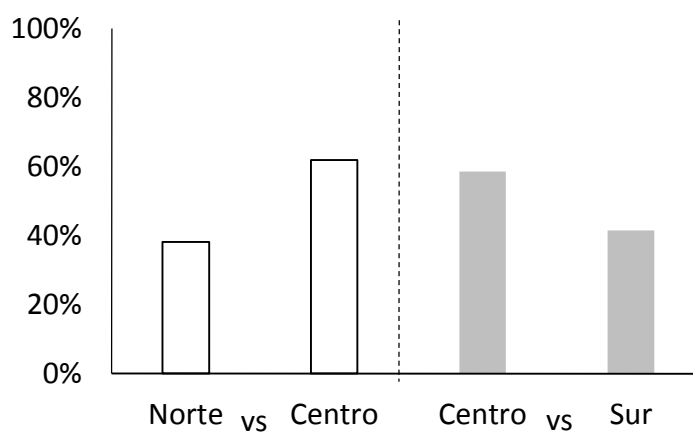
**Tabla II.** Riqueza promedio, abundancia (No.Org \*m<sup>-2</sup>), diversidad  $\alpha$  Fisher y similitud de la comunidad de macroinvertebrados en las regiones de identificadas.

	Regiones			
	Norte	Islas	Centro	Sur
<b>S</b>	16	11	23	14
<b>N</b>	115	44	164	58
<b><math>\alpha</math> Fisher</b>	6.1	4.7	7.4	6.0
<b>Similitud</b>	31.8	41.2	46.5	33.5



**Figura 12.** Densidad promedio (No.org\*m<sup>-2</sup>) por regiones de las poblaciones de abulón a) azul y b) amarillo en los años de 1970 y 2011.

Similar a lo que ocurre con los abulones que presentan sus mayores abundancias en la región central (Figura 12), se encontró que un alto porcentaje de especies de macroinvertebrados bentónicos muestran una mayor abundancia en la región central con respecto a las regiones adyacentes, como se observa en la Figura 13.



**Figura 13.** Porcentaje de especies coincidentes que tienen mayor abundancia promedio en la región central con respecto a las adyacentes.

## DISCUSIÓN

### **Cambios históricos de las poblaciones de abulón**

Karpov *et al.* (2000) reportaron una reducción serial de todas las especies de abulón que componían la captura en California, EE.UU., durante la década de 1970 después de 20 años de altas producciones. Al comparar las series de captura de California y Baja California surgen algunas observaciones interesantes (Figura 4). Particularmente para las dos especies más importantes de la captura en California, el abulón rojo y el abulón amarillo, el fuerte declive inició en 1969 y para principios de los ochentas ya sólo se mantenía una modesta abundancia de abulón rojo; finalmente la pesca comercial fue cerrada en 1997, después de dos décadas sin señales de recuperación.

En Baja California, la pesquería de abulón amarillo, sujeta a un sistema de manejo diferente, también declinó en la misma década (1970), lo que sugiere un efecto ambiental a escala, al menos, del sistema de la Corriente de California. Sin embargo, cabe señalar dos principales diferencias entre las regiones: la primera, a pesar de que las capturas disminuyeron de manera significativa en Baja California después de los años setenta, la pesquería no ha sido cerrada a pesar de no existir signos claros de recuperación. La segunda, que incluso con la pesquería operando hasta la actualidad, el abulón azul ha presentado capturas relativamente estables, al menos hasta la década de 1990.

Las estimaciones de densidad a partir de censos en cuadrantes fue el primer sistema empleado para intentar la estimación de abundancia de los abulones y, por tanto, es de la forma en que se tienen los registros más antiguos. Sin embargo, este tipo de estimaciones tiene alta varianza en muchos casos, la cual está asociada a diferencias en el hábitat y las diferentes zonas en las que se realizan los muestreos (Guzmán del Prío, 1992). En este sentido, la densidad poblacional obtenida de esa forma debiera ser considerada únicamente como un indicador grueso para explorar la relación entre los cambios en la biomasa y la captura. En congruencia con lo

anterior Morales-Bojórquez *et al.* (2008), al analizar datos de los censos realizados en la región central de la Península de Baja California de 1991-2001, encuentran que los datos de densidad parecen ser un pobre estimador de la abundancia real debido a la distribución en parches del abulón y la alta varianza obtenida en los censos.

Tomando en cuenta lo anterior, se realizó en este trabajo la comparación entre 1970 y 2011 para los mismos sitios de muestreo, a fin de disminuir en lo posible la variabilidad asociada al método. En este análisis, por un lado, se observa la disminución generalizada en la región sur para ambas especies, mientras que para la región central de la península se observan comportamientos diferenciales, cuyas probables causas que se discuten a continuación.

Por un lado, sobresale que en 2011 existen densidades de abulón azul superiores a las encontradas en el pasado (Figura 6A). Si se toma en cuenta la fuerte disminución de las capturas totales ( $\approx 3000$  t en 1970 y  $\approx 800$  en 2010), este resultado parece poco confiable. Sin embargo, si se analiza la composición por especie de las capturas en el tiempo, se observa como para 1970 la proporción de abulón amarillo era muy superior a la de azul, mientras que en la actualidad la tendencia es a la inversa siendo este porcentaje para 2003. en la zona de Bahía Tortugas. de 83% azul y 17% amarillo (Sierra- Rodríguez *et al.*, 2006).

Al analizar las capturas y la composición de especie, lo que se observa *grosso modo* es una población de abulón azul relativamente estable, al menos hasta el colapso observado en la segunda mitad de los noventa. A partir de 1997, la regulación de las cuotas de captura y la vigilancia se volvieron más estrictos, en especial por parte de las cooperativas que se ubican en la zona central de la península, por lo que los rendimientos de los últimos años, aunque están basados en estimaciones de biomasa, están determinados por las cuotas de captura.

Para el caso del abulón amarillo se observa una clara disminución en sus densidades en la mayor parte de su distribución, lo cual concuerda con los datos



históricos de captura para esta especie, que muestran tendencias negativas desde finales de la década de 1970 y hasta años recientes, donde comienzan a apreciarse indicios de su recuperación (Figura 3). Las mayores densidades se observaron en la región ubicada entre la parte sur de Bahía Asunción y Punta Abreojos, que es precisamente la zona donde se reportan mayores recuperaciones para esta especie. En 1990, la composición en la captura fue de 93% para abulón azul y 7% para amarillo, y ya en 2003 los porcentajes fueron 57% y 43%, respectivamente. En esta zona se presenta una aparente alternancia entre las especies que integran las capturas, aunque en realidad se debe al incremento en el abulón amarillo (Sierra-Rodríguez *et al.*, 2006). Por otro lado, para la región centro norte, que abarca desde Punta Malarrimo al primer tercio noroeste de Bahía Asunción, no se aprecia tan marcada esta recuperación (1990 la composición de abulón azul y amarillo fue de 96% y 4% respectivamente y en 2003 fue de 83% y 17%).

Todos estos cambios en la proporción de especies difícilmente pueden ser atribuidos a preferencias de los pescadores ya que, por un lado, la mayoría del producto se comercializa enlatado, sin distinción de especies. Por otro lado, los pescadores están igualmente preparados para extraer cualquiera de las especies, e incluso el abulón azul tiene una distribución vertical menos profunda que el amarillo, lo que implica que es más vulnerable a la pesca que el amarillo. Tampoco parece tratarse de un efecto de las regulaciones aplicadas, ya que en el pasado las diferencias se limitaron a tallas mínimas de captura por especie; hasta la última década se determinó una cuota por especie y por cooperativa sobre la base de las abundancias estimadas en censos anuales (Leon-Carballo y Muciño-Díaz, 1996).

En este sentido, el cambio de composición de las capturas parece estar más relacionado con la sensibilidad diferencial al medio ambiente entre ambas especies: el abulón amarillo muestra grandes fluctuaciones mientras que el azul se mantiene relativamente constante. Las razones detrás del comportamiento de la serie de capturas de abulón azul en Baja California siguen sin determinarse, pero se proponen algunas hipótesis más adelante.

### **Sensibilidad al cambio climático y variables asociadas a temperatura**

Al realizar la comparación de los valores de abundancias se observa una ligera reducción en el número de zonas con presencia de abulón, en comparación con 1970. Solamente en un caso de abulón amarillo se encontró un sitio en la zona norte, donde se detectó la presencia de abulón donde antes no se encontraba. Sin embargo, se trata de un solo individuo y dado que hacia el norte se presentan muy bajas abundancias de esta especie, se considera poco significativo (Figura 6B). En este mismo sentido, se encontró una reducción de las densidades entre ambos estudios, lo cual concuerda con la disminución gradual del recurso observada en los registros de captura del Instituto Nacional de la Pesca (2010). A pesar de lo anterior, el límite de sur de distribución de ambas especies sigue siendo el mismo que el encontrado hace 40 años y no se encontró evidencia suficiente como para detectar un desplazamiento latitudinal. Esta respuesta no es consistente con lo que se esperaría en organismos de ambientes templados frente a los efectos del calentamiento global en el océano (Walther *et al.*, 2002; Root *et al.*, 2003).

Este resultado resulta sorprendente ya que, independientemente de los impactos potenciales del cambio climático, en la región sur hay cooperativas menos organizadas y con menor vigilancia, lo que presumiblemente implica una mayor pesca ilegal en la zona. De hecho, desde hace más de dos décadas León-Carballo y Ramírez (1989) reportaban ya muy bajas densidades de abulón en la parte sur, desde Santo Domingo a Isla Magdalena (0.4 abulones m<sup>2</sup> para el azul y 0.1 para el amarillo) y la desaparición de algunos bancos, como consecuencia de la sobreexplotación. Debido a lo anterior, la preocupación inicial era que, de no encontrar organismos en el límite sur, sería difícil determinar si se trataba de un efecto de la sobrepesca o del cambio climático. La presencia de abulones en una zona con más pesca ilegal y bancos con baja densidad, refuerza la idea de una ausencia de corrimiento latitudinal debida al cambio climático.

La ausencia de corrimiento latitudinal, también es contrastante con los resultados de Rogers-Bennett (2007) para *H. walallensis*, otra especie de abulón

distribuida más al norte en la costa occidental del Pacífico. Los autores compararon registros de 30 años y encontraron que la distribución parece haberse contraído hacia el norte y plantea su asociación con el calentamiento global. En este caso, la especie en cuestión no fue objeto de pesca hasta años recientes, cuando se abre una pequeña pesquería en su zona más abundante, evitando así el factor de confusión por pesca en sus conclusiones.

La ausencia de corrimiento latitudinal podría tener diversas explicaciones ya que la aparente estabilidad puede deberse a diferentes factores que a continuación se explican.

1. La resolución de nuestros datos no es suficiente para detectar los cambios, si es que existen. Al respecto existen discrepancias en las velocidades de expansión-contracción poblacional estimadas a partir de meta-análisis para invertebrados marinos que van desde menos de 10 km por década (fauna intermareal 6.8 km por década; submareal costera 14.3 km por década; y fauna arrecifal 2.7 km por década; Przeslawski *et al.*, 2012) hasta cientos de kilómetros por década (Sorte *et al.*, 2011; Helmuth *et al.*, 2006). A pesar de que en el presente estudio se emplearon intervalos de 25 km, el límite sur detectado coincidió de manera exacta con el límite sur detectado por Guzmán del Proó (1976), ubicados en la punta Sur de la Bahía de Santa María y aproximadamente 10 km al norte del límite estimado por Geiger y Groves (1999) a partir de reportes de literatura y especímenes en colecciones; estos autores ubican el límite sur de distribución de *H. corrugata* y *H. fulgens* en Sail Rock, cerca de Punta Entrada en Bahía Magdalena.
2. La ausencia de cambio en la distribución del abulón es un retraso en el tiempo de la respuesta de las especies, debido a su ciclo de vida largo. Perry *et al.* (2005) observaron en peces demersales del Mar del Norte, que es más fácil detectar cambios en la de distribución en especies con ciclos de vida cortos, mientras que las que tienen ciclos largos no presentan cambios. Por

otro lado, la ausencia de una respuesta al cambio climático en las poblaciones de abulón podría también deberse a que la señal ambiental no es igual en todas las regiones del mundo. Herrera-Hernández y Lluch Cota (2012) no encontraron una tendencia consistente en la temperatura superficial del mar del pacífico noroeste de México durante los últimos 20 años, y por tanto la señal del cambio climático en la región puede no ser tan evidente como en otras regiones del mundo.

3. El límite sur de distribución del abulón no corresponde con el límite fisiológico (tolerancia) y que más bien ambas especies han sido incapaces de establecer poblaciones viables en nuevas regiones hacia el sur debido a factores abióticos distintos a la temperatura, como podría ser el tipo de sustrato (de Waal *et al.*, 2003) o disponibilidad de alimento (Hecht y Britz, 1990).

Con respecto al hábitat y al factor trófico, se sabe que las poblaciones de abulón se distribuyen espacialmente en agregaciones discontinuas (Tegner, 1989) ligadas a la heterogeneidad de los sustratos arrecifales y a la discontinuidad de los mantos de macroalgas que se consideran su principal alimento. *Eisenia arborea* es la especie de alga café dominante en la región sur de distribución de los abulones, cuyo límite de distribución prácticamente coincide con el límite de distribución de los abulones, en las inmediaciones de Isla Santa Margarita, en la parte sur de Bahía Magdalena (Abbott y Hollenberg, 1976).

Hacia el sur de Santa Margarita se extiende la Isla creciente, constituida por una larga barra arenosa horizontal a la costa de unos 30 km, sustrato que no es propicio para el establecimiento y desarrollo de poblaciones de abulón.

Keyl (2004) reportó una correlación significativa entre las variaciones de abulón amarillo y la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés) pero no así con el abulón azul. Sin embargo, las correlaciones estadísticas no

necesariamente indican las causas subyacentes (Köster *et al.*, 2005). En el presente estudio se actualizaron los datos y se volvió a correr el modelo de Keyl (2004), encontrando que esta correlación no era consistente. De acuerdo a Keyl (2004) el mecanismo asociado entre el PDO y el abulón amarillo residía en el estrés ambiental que afecta la fase larvaria de esta especie, ya que la correlación se ajusta mejor con un retraso de cinco años y corresponde con las diferencias en el rango óptimo de temperatura reportado para sus larvas (amarillo 18° a 21°C y azul 20° a 23° C; Leighton *et al.*, 1974). Además el pronóstico del PDO en ese momento parecía indicar el inicio de un periodo frío cuando en realidad la etapa cálida continuó por algunos años más (Figura 7).

### **Diferencias fisiológicas entre especies**

Hasta aquí, las observaciones en las capturas entre especies y en los cambios en distribución y abundancia, parecieran indicar que el abulón amarillo es más susceptible a las variaciones en el ambiente; sin embargo, otras evidencias apuntaron a que no se trata de la influencia de la temperatura. Por un lado, no se identificaron diferencias en el límite sur de distribución de ambas especies y, por el otro, se sabe que el abulón azul tiene una temperatura crítica máxima ligeramente superior a la del abulón amarillo Díaz *et al.* (2006, Tabla I) por lo que se esperaría que las mayores abundancias de abulón amarillo se concentraran hacia el norte donde la temperatura es menor, no en la zona centro sur, en las localidades de la Bocana y Abrejos, donde presenta menor reducción en sus abundancias.

### **Comparación entre especies**

En este trabajo se recopilaron y analizaron diversos aspectos de la biología del abulón azul y amarillo para explicar las diferencias en el comportamiento histórico entre ambas especies. Se encontró fue una considerable similitud entre ellas en al menos aquellos parámetros, pero se encontró poca información con respecto a sus límites de tolerancia.

En cuanto al factor hipoxia, no fue posible documentar si existen o no diferencias en los límites de tolerancia debido a que ambas son tolerantes a niveles por debajo de los  $0.6\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . A pesar de que no explica diferencia entre especies, este resultado es importante en el contexto de las mortalidades reportadas por las cooperativas pesqueras en años recientes. En la opinión de los pescadores, la mortalidad por hipoxia de los bancos de abulón es una de las hipótesis más probables debido a un reporte anecdótico de un pequeño evento de hipoxia en la zona de Bahía Asunción ocurrido en 2010. Sin embargo, al observar la tolerancia mostrada por ambas especies se puede descartar este factor ya que el umbral del abulón está por debajo de los  $2\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  que es la concentración media letal para un importante número de organismos marinos (Vaquer Sunier y Duarte, 2008). Un evento de hipoxia que afectara al abulón, dejaría huella en toda la comunidad del ecosistema de arrecife bentónico donde habita el abulón, lo cual no fue apreciado durante los censos.

### **Diferencias en alimentación**

El análisis de isótopos estables mostró que la composición de la dieta es diferente en ambas especies, sin embargo, los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  no permitieron determinar la composición específica de la dieta de cada especie. Se requiere de un análisis adicional que pueda incluir un mayor número de fuentes de alimento y probablemente el uso de técnicas más específicas, como podría ser el análisis de isótopos estables de ácidos grasos, que es un método analítico más preciso que el análisis convencional y que permite separar las fuentes de alimento de manera específica (Meier- Augenstein, 2002).

En la comparación entre localidades se observaron diferencias significativas en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  tanto de los abulones como de las macroalgas, lo que sugiere que en cada sitio existe una entrada de carbono diferente (Figura 9). A pesar de que no existen ríos ni efluentes conspicuos en la Península que pudieran estar incorporando una señal terrestre en el ecosistema costero, es probable que la Laguna de San Ignacio, cercana a la Bocana, presente una señal de carbono

relacionada a aportes terrígenos en la época de lluvias, lo cual concordaría con la señal empobrecida en  $\delta^{13}\text{C}$  de la Bocana con respecto a Bahía Tortugas. Desafortunadamente no se cuenta con información de la señal isotópica del agua ni de los sedimentos de la laguna que confirmen esta hipótesis.

En el caso del nitrógeno se observó una señal similar de  $\delta^{15}\text{N}$  entre los abulones y los productores primarios ( $\sim 10\text{‰}$  and  $10\text{--}12\text{‰}$ , respectivamente). Este resultado fue completamente inesperado ya que se ha encontrado que estas macroalgas son la principal fuente de alimento de los abulones (e.g. Guzmán del Proó *et al.*, 2003) y por lo que se esperaba un enriquecimiento alrededor de  $3.4\text{‰}$  de  $\delta^{15}\text{N}$  entre las macroalgas y los abulones.

Pinnegar y Polunin (2000) encontraron valores inusualmente bajos de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $2.36\text{‰} \pm 0.35\text{‰}$ ) en el abulón del mediterráneo *H. lamellose*, lo cual se encuentra por debajo de sus productores primarios. Sugieren que las cianobacterias epifitas de las macroalgas forman parte importante de su dieta. Won *et al.* (2007) encontraron que el abulón japonés *H. diversicolor* tenía el valor más bajo de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $9.3\text{‰} \pm 0.5\text{‰}$ ) entre los moluscos gasterópodos de su hábitat, lo cual pudiera implicar que el valor convencional de fraccionamiento no aplica para estas especies si su fuente principal de alimento fueran las macroalgas cafés ( $7.6\text{‰} \pm 0.7\text{‰}$ ) Estos mismos autores (2008) reportan que el valor de fraccionamiento de abulones juveniles ante diferentes dietas es en promedio de  $2.2\text{‰}$  para el  $\delta^{15}\text{N}$  lo cual, continúa siendo alto para considerar a las macroalgas cafés como la fuente principal de alimento. De acuerdo a estos antecedentes y a los valores encontrados en el presente trabajo, la dieta del abulón incluye diatomeas epifitas, bacterias y/o materia orgánica particulada.

La explicación probable de la señal empobrecida en  $\delta^{15}\text{N}$  en el abulón resulta de un proceso de mezcla de más de una red trófica, ya que este puede estar alimentándose tanto de productores primarios como de detritus. Desafortunadamente no se cuenta con muestras de todos los posibles componentes de dicha mezcla, por lo que resultó imposible separarlos en el análisis

de los resultados de isótopos estables. Esta situación es común en otros consumidores primarios de vida larga (Post, 2002) y en nuestra área de estudio se ha observado que el contenido estomacal de juveniles de abulón muestran la presencia de macroalgas, detritus y diatomeas (Siqueiros-Beltrones *et al.*, 2005).

A pesar de desconocer de manera específica las fuentes de alimento de ambas especies, el análisis de isótopos estables en el ciclo anual muestra diferencias en cuanto a la señal de  $\delta^{15}\text{N}$ . El abulón azul muestra un claro patrón estacional con menores valores en septiembre (9.5 ‰) y mayores en diciembre (11.8 ‰), mientras que el abulón amarillo muestra variaciones menores e irregulares a lo largo del año. Una probable explicación es que las fuentes de que se alimenta el abulón azul presentan una mayor variabilidad estacional en comparación con las del amarillo. Al respecto Gómez-Valdez (2010) compararon la señal de isótopos estables de  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$  de macroalgas cafés, rojas y pastos marinos entre el verano (julio) y otoño (noviembre) en Bahía Tortugas y encontraron que algunas algas como *Macrocystis pyrifera* presentan diferencias significativas mientras que otra como *Eisenia arborea* y *Gelidium robustum* no presentan diferencias.

Sin embargo, los análisis de contenido estomacal en abulones azules presentan una importante variedad de presas lo que no concuerda con esta explicación. Otra posible causa sería que el abulón azul presenta una mayor plasticidad en sus hábitos alimenticios comparado con el abulón amarillo, lo cual es reflejado en cambios estacionales de dieta basados en la disponibilidad de recursos. Si esto resulta cierto, el abulón amarillo se encontraría en desventaja ante eventos ambientales que afecten sus principales fuentes de alimento, mientras que el abulón azul pudiera contar con más alternativas para alimentarse.

### **Relación entre abundancia de abulón y los componentes de la comunidad bentónica**

Se esperaba encontrar diferencias en la comunidad bentónica entre Bahía Tortugas, Abreojos y La Bocana, ya que la composición por especies de abulón es diferente;



además, durante el trabajo de campo se apreció una clara diferenciación entre la especie de macroalga dominante en cada zona (*Macrocystis pyrifera* en Bahía Tortugas y *Eisenia arborea* en La Bocana). No obstante, la estructura de la comunidad de macroalgas y de invertebrados resultó ser similar entre ambas zonas, lo cual se suma a la similitud que se han encontrado entre estas dos especies que comparten espacios en el mismo ambiente.

En el caso de las macroalgas, la recolecta se enfocó en especies “understory” (viven bajo el dosel) y no consideró la biomasa de las dos especies dominantes antes mencionadas, debido a las dificultades técnicas que conlleva su estimación (el volumen de un sólo individuo de *Macrocystis* es del orden de decenas de metros cúbicos). De acuerdo a los resultados de este trabajo, la diferencia de especies en la macroalga dominante no corresponde a una diferencia en las especies que conforman la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en arrecife rocoso en la región central de la península. Empero, el análisis de las poblaciones de abulón con la comunidad bentónica a una escala mayor sí permitió observar un patrón consistente, como se describe a continuación.

Mientras que disminuciones locales de abulón han sido reportadas en localidades específicas en la región central de la costa de Baja California (Morales-Bojorquez *et al.*, 2008; Micheli *et al.*, 2012), aquí se documenta un declive a lo largo de toda la costa, y se muestra una disminución más marcada en las islas en comparación con las zonas costeras de la península. Por otro lado, se observa que las mayores densidades que ocurren en la región central permanecen hasta la fecha, lo que sugiere que las condiciones que hacen a la región central más productiva han permanecido con pocos cambios por al menos cuatro décadas.

La riqueza y diversidad de macroinvertebrados observada en este estudio sigue un patrón coherente de valores más altos en la región central, que representa la transición entre las provincias biogeográficas de California y la Cortesiana (Robertson y Cramer, 2009; Ruiz Campos *et al.*, 2010) y donde la Corriente de California converge con la contracorriente subtropical Norecuatorial. La alta riqueza

de especies puede ser el resultado de la mezcla de especies de afinidades templadas y tropicales en un efecto de ecotono (Kark y Van Rensburg, 2007). Sin embargo, la alta abundancia de cada una de las especies en el área no puede ser explicada y es incluso contraria a la idea del efecto de borde, ya que se espera que las abundancias tiendan a ser menores en los límites de distribución de una especie. Los datos muestran que la abundancia promedio en la región central es casi 1.5 veces mayor que la región norte y 2.8 veces que la sur. Además de que un mayor número de especies tiene una mayor abundancia en la región central como se muestra en la Figura 13.

Las dos fuentes principales de nutrientes en la corriente de California son las aguas polares provenientes del norte y las aguas profundas provenientes de las surgencias, por lo que en términos generales la productividad es más alta en la parte norte de la Corriente de California que en la sur (Bernal, 1979; McGowan, 1980). Adicionalmente, el extremo sur del sistema de la Corriente de California, la costa oeste de Baja California, está expuesta a un empobrecimiento durante el verano, en parte debido a la penetración de agua subtropical cálida (Lluch Belda, 2003b). En contraste, Lluch Belda (2003a) argumenta la existencia de un considerable desove de sardina durante todo el año, el cual ocurre en el área de punta Eugenia y que debe de estar soportado por mecanismos distintos a la advección o las surgencias inducidas por el viento.

Morales-Zarate *et al.* (2000) encuentran que la región central de Baja California tiene una mayor productividad que el resto de la costa a lo largo de todo el año, mientras que otras áreas de alta productividad tienen valores de enriquecimiento considerables solo durante una parte del ciclo anual. Dentro del área de estudio, lugares como Punta Baja (~30°N) y el Golfo de Ulloa muestran un enriquecimiento considerable durante la época de surgencias, pero esta disminuye notablemente cuando los vientos se reducen. La existencia de un enriquecimiento local y procesos de retención que ocurren en Punta Eugenia están soportados por análisis de imágenes de satélite (Espinosa-Carreón, 2004; Herrera-Cervantes *et al.*,

2014). Esta condición resulta en que esta área sea diferente de las zonas de surgencias aledañas, pero similar a lo que ocurre en otras discontinuidades geográficas dentro de corredores de surgencias, como es el caso de los Centros de Actividad Biológica (BACS) de la cuenca del sur de California y San Francisco (Lluch Belda *et al.*, 2000).

En el presente análisis se encontró que los ecosistemas bentónicos rocosos presentan un patrón similar al detectado por los autores antes mencionados para el ambiente pelágico. La abundancia de muchas especies, incluidas aquellas de alta importancia económica, ocurre en el área de Punta Eugenia. Este patrón no se explica por el enriquecimiento derivado de las surgencias, que también ocurren en la región sur y norte, pero es posible que esté relacionado a una retención y enriquecimiento derivado de la forma geográfica de Punta Eugenia.

En el caso de los abulones esto pudiera concordar con la hipótesis de diferencias en alimentación, donde el abulón azul ha sido capaz de explotar de mejor manera esta productividad constante a lo largo del año gracias a su mayor plasticidad alimenticia en comparación con el abulón amarillo, lo cual también explicaría las mayores abundancias de abulón azul en la composición de especies para la región de punta Eugenia, comparado con la región de La Bocana donde sus abundancias no son tan dominantes.

## CONCLUSIONES

El nivel de disminución histórica de las capturas de abulón no es el mismo entre especies ni entre regiones a lo largo de la Península de Baja California.

No se encontró evidencia de cambios en límite de distribución sur en las poblaciones de abulón azul y amarillo en la península de Baja California en los últimos cuarenta años.

No se encontró relación entre la temperatura y las diferencias en distribución y abundancia de las especies de abulón azul y amarillo.

El límite de tolerancia a hipoxia está por debajo de los  $2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  para ambas especies de abulón, lo que implica que no se trata de especies particularmente sensibles a este factor ambiental.

El análisis de isótopos estables indica una mayor variabilidad en la alimentación de abulón azul en comparación con el amarillo.

Uno de los factores más importantes que afectan la abundancia de abulón y otras especies de la comunidad bentónica en la Península de Baja California es de tipo geográfico y pudiera estar asociado a la alta productividad sostenida en la región central que conforma un BAC.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, R.T. 1974. American Seashells. Van Nostrand Reinhold Co. 2nd ed. USA, NY. 663p.
- Abbott I.A., y G.J. Hollenberg. 1992. Marine algae of California. Standford University Press. 23a Edición. California. 844p.
- Andrade P.M. 1980. Estudio biológico y prospección de los bancos de las cooperativas de la zona central de Baja California. Informe técnico. Inst. Nal de Pesca. La Paz BCS. 78p.
- Bernal P.A. 1979. Large-scale biological events in the California Current. CalCOFI Rep. 20: 89–101.
- Bograd, S.J., C.G. Castro, E. Di Lorenzo, D.M. Palacios, H. Bailey, W. Gilly, F.P. Chavez. 2008. Oxygen declines and the shoaling of the hypoxic boundary in the California Current. *Geophys. Res. Lett.* 35:L12607. doi:10.1029/2008GL034185.
- California Department of Fish and Game Marine Region. 2005. Abalone Recovery and Management Plan. California Department of Fish and Game Marine Region. California. 363p.
- Campbell, A. 2000 Workshop on rebuilding abalone stocks in British Columbia. *Can. Spec. Publ. Fish Aquat. Sci.* 130: 150.
- Carta Nacional Pesquera, 2010. SAGARPA-INAPESCA, México
- Chan, F., J. A. Barth, J. Lubchenco, A. Kirincich, H. Weeks, W.T. Peterson, B.A. Menge. 2008. Emergence of Anoxia in the California Current Large Marine Ecosystem. *Science* 319 (5865): 920. doi:10.1126/science.1149016.
- Chavez, F.P., J. Ryan, S.E. Lluch-Cota, M.C. Niquen. 2003. From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science* 299:217–221.

- Chelton, D.B. 1981. Interannual variability of the California Current - Physical Factors. CALCOFI Rep. 22:34-48.
- Cheung, W.W.L., V.M.Y. Lam, J.L. Sarmiento, K. Kearney, R. Watson, D. Zeller, D. Pauly. 2010. Large scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Change Biology*. 16:24-35
- Diaz, F., A.D. Re, Z. Medina, G. Re, G. Valdez, F. Valenzuela. 2006. Thermal Preference and Tolerance of Green Abalone *Haliotis fulgens* (Philippi, 1845) and Pink Abalone *Haliotis corrugata* (Gray, 1828). *Aquac. Res.* 37(9):877–884. doi:10.1111/j.1365-2109.2006.01506.x.
- Espinosa-Carreón, L., P.T. Strub, E. Beier, F. Ocampo-Torres, G. Gaxiola-Castro. 2004. Seasonal and interannual variability of satellite-derived chlorophyll pigment surface height, and temperature of Baja California. *J. Geophys. Res.* 109: C03039. doi:10.1029/2003JC002105
- Geiger, D.L., L.T. Groves. 1999. Review of fossil abalone (Gastropoda: Vetigastropoda: Haliotidae) with comparison to Recent species. *Journal of Paleontology*. 73:872–885.
- Gladstone, G.V. 2010. Oceanography: Dead in the water. *Nature*. 466:812–4.
- Gómez-Valdez, M.M. 2010. Análisis de la alimentación natural de *Megastraea undosa* (Wood, 1828) y *Megathura crenulata* (Sowerby, 1825) mediante isótopos estables de C y N. Tesis de Licenciatura. UABCS. Dpto. Biol. Mar. La Paz, BCS. 76p.
- Gotshall, D.W. 2005. Guide to marine invertebrates: Alaska to Baja California. Sea challenger's publication 2a edición USA. 123p.
- Grantham, B.A., F. Chan, K.J. Nielsen, D.S. Fox, J.A. Barth, A. Huyer, J. Lubchenco, B.A. Menge. 2004. Upwelling-driven nearshore hypoxia signals ecosystem and oceanographic changes in the northeast Pacific. *Nature*. 429:749–754

- González J.G., Ortiz Q.M. 1986. Estudios sobre la madurez, índice gonadal y fecundidad en abulón negro *Haliotis cracherodii* (Mollusca: Gasteropoda) a partir de muestras colectadas en la isla de Cedros, Baja California en junio de 1982. Instituto Nacional de Pesca.CRIP. Ensenada. 72p
- Guzmán del Prío, S. A. 1992. A Review of the Biology of Abalone and Its Fishery in Mexico. En: Shepherd, S.A., Tegner, M. J., Guzmán-Del Prío S.A. (eds.) Abalone of the World: Biology, Fisheries and Culture. Fishing News Books. Primera Ed. Oxford, U.K. 341–360.
- Guzmán del Prío, S.A., A.C. Castro. 1976 Un sistema de registro de la composición de la captura comercial de abulón (*Haliotis spp.*). Resultados de cuatro temporadas (1972- 1976) en Baja California. En: Memorias del primer simposium nacional de recursos pesqueros masivos de México. SIC./ Subsecretaria de pesca, Instituto Nacional de la Pesca, Ensenada B.C. México.1-36.
- Guzmán del Prío, S.A. V.A. Marín, C.E. Castro-Aguirre. 1976. Estructura y abundancia de la población de abulón (*Haliotis spp.*) de Baja California en los años 1968/1970. En: Memorias del primer simposium nacional de recursos pesqueros masivos de México. SIC./ Subsecretaria de pesca, Instituto Nacional de la Pesca, Ensenada B.C. México. 219–278.
- Guzmán del Prío, S.A., J. Pineda, B.J. Molina, F. Uribe, R. Aguilar, M. Andrade, G. León, V. Marín, C.E. Castro. 1980. Análisis de la pesquería del abulón de Baja California: fundamentos biológicos para un nuevo régimen de explotación del recurso. Informe Técnico del Instituto Nacional de la Pesca. 294p.
- Guzmán del Prío. S.A., E. Serviere-Zaragoza, D.A. Siqueiros Beltrones. 2003. Natural diet of juvenile abalone *Haliotis fulgens* and *H. corrugata* (Mollusca: Gastropoda) in Bahia Tortugas, Mexico. Pacific. Sci. 57:319–324.
- Haaker, P.L., I. Taniguchi, J.K. O'Leary, K. Karpov, M. Patyten, M. Tegner. 2004 Abalones. En: Ryan, C., Patyten M. (eds.) Annual status of the fisheries report

- through 2003. California Department of Fish and Game Marine Region. California. 8-15.
- Hewitt, R. 1981. Eddies and speciation in the California Current. CalCOFI Rep. 22:96-8.
- Hecht, T., P.J. Britz. 1990. Aquaculture in South Africa: History, status and prospects. Aquaculture Association of South Africa. Pretoria. 58p.
- Herrera-Cervantes, H. Lluch-Cota, S.E. Lluch-Cota, D.B. Gutiérrez-de-Velasco, G. 2014. Interannual correlations between sea surface temperature and concentration of chlorophyll pigment off Punta Eugenia, Baja California, during different remote forcing conditions. *Ocean Sci.* 10: 345–355.
- Herrera-Hernández H y Lluch-Cota S E. 2012 Reporte Técnico: Escenarios de cambio y variabilidad climática para los Mares Mexicanos. CIBNOR. La Paz, B.C.S. 38pp.
- Helmuth, B., N. Mieszkowska, P. Moore, S.J. Hawkins. 2006. Living on the Edge of Two Changing Worlds: Forecasting the Responses of Rocky Intertidal Ecosystems to Climate Change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37 (1): 373–404.
- INP. 2000. Sustentabilidad y Pesca Responsable en México, evaluación y manejo. Instituto Nacional de la Pesca, México D.F. CD Rom.
- Kark, S., B.J. Rensburg van. 2007. Ecotones: Marginal or Central Areas of Transition. *Isr. J. Ecol. Evol.* 52:29–53
- Karpov, K.A., P.L. Haaker, I.K. Taniguchi, L. Rogers-Bennett. 2000. Serial depletion and the collapse of the California abalone (*Haliotis spp.*) fishery. En: Campbell, A. (ed.) Workshop on Rebuilding Abalone Stocks in British Columbia. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. Primera edición. Ottawa, ON, CAN. 11–24



- Keen, A.M. Sea Shells of Tropical West America. Marine mollusks from Baja California to Peru. Stanford University Press. 2ª edición. California. 1971.
- Keyl F. 2004. Evaluación y manejo del recurso marino *Haliotis spp.* (abulón) en la península de Baja California, México mediante un modelo pesquero-climático. Tesis de Maestría. Universidad de Costa Rica. 121p
- Lamb, A., Hanby, B.P. 2005. Marine life of the Pacific Northwest. A photographic encyclopedia of invertebrates, seaweeds and selected fishes. Harbour publishing. Canadá. 2005.
- Lambert P. Austin WC. Brittle stars, sea urchins and feather stars of British Columbia, southeast Alaska and Puget Sound. Canada: Royal British Columbia Museum; 2007
- Leighton, D.L. 1974. The influence of temperature on larval and juvenile growth in three species of southern california abalones. Fish. Bull. 72:1137–1145.
- Lelevier, G.A., C.G. León, Q.M. Ortiz, J.R. Turrubiates, J.G. González. M.A. Reinecke. 1989. Análisis biológico pesquero del stock abulón en la península de Baja California, durante las temporadas de pesca 1981-1988. Centro Regional de Investigaciones Pesqueras en Ensenada. Informe Técnico del Instituto Nacional de la Pesca (inédito).
- León, C.J.G., N. Ceseña. 1988. Análisis biológico pesquero de la temporada de pesca 1987 de abulón. Zona de explotación de la S.C.P.P. Bahía Magdalena. Centro Regional de Investigaciones Pesqueras. Informe Técnico del Instituto Nacional de la Pesca. La Paz BCS. 16p.
- León-Carballo, G. M. Muciño-Díaz. 1996. Pesquería de Abulón. En: Margarita Casas-Valdez, M., Ponce-Díaz, G. [eds.] Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur. CIBNOR, La Paz B.C.S. 372 p.
- León-Carballo, G., M. Ramírez-R. 1989. The Abundance of Abalone in 23 Fishing Areas of Baja California Sur, Mexico (1984-1985). En: S. A. Guzmán del Prío,

- M. J. Tegner, and S. A. Sheperd (eds.). Proceedings of the first International Symposium. Abalone of the World: Biology, Fisheries and Culture. Fish. Res. Pap. Dep. Fish. (S. Aust). Adelaide, South Australia. 5-9.
- Levin, L.A. 2003. Oxygen minimum zone benthos: adaptation and community response to hypoxia. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 41:1–45.
- Lluch-Belda, D., R.J.M. Crawford, R.H. Parrishs, R.A. Schwartzlose, P.E. Smith. 1989. World-Wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: The régime problem. *South African J. Mar. Sci.* 8:195–205.
- Lluch-Belda, D. 1999. The interdecadal climatic change signal in the temperate Large Marine Ecosystems of the Pacific. In (K. Sherman and Q. Tang, eds.) *Large Marine Ecosystems of the Pacific Rim. Assesment, Sustainability and Management.* Blackwell Science: 42-47
- Lluch-Belda, D., J. Elourduy-Garay, S.E. Lluch-Cota, G. Ponce-Díaz. 2000. BAC Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Primera edición. La Paz, BCS. 367p
- Lluch-Belda, D., D.B. Lluch-Cota, S.E. Lluch-Cota. 2003a. Baja California's Biological Transition Zones: Refuges for the California Sardine. *J. Oceanogr.* 59:503 – 513
- Lluch-Belda, D.B., Lluch-Cota, S.E. Lluch-Cota. 2003b. Scales of interannual variability in the California current system. *CalCOFI Rep.* 44:76 – 85.
- Lluch Cota, S.E. 2012 Informe técnico de avances del proyecto SAGARPA-CONACyT, Diagnóstico sobre la disminución de las poblaciones de abulón en la costa occidental de la Península de Baja California. CIBNOR. La Paz, BCS.

- Luna, G.A. 1993. Ciclo reproductivo de abulón azul *Haliotis fulgens*, Philippi 1845 (Mollusca: Haliotidae) en la Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura. UABCS, Dpto. Biol. Mar. La Paz, BCS.
- McGowan, J.A., C.B. Miller. 1980. Larval fish and zooplankton community structure. CalCOFI Rep. 21: 29–36.
- Mazariegos-Villarreal, A., M. Casas-Valdez, D.A. Siqueiros-Beltrones, A. Piñon-Gimate, E. Serviere Zaragoza. 2012. Changes in natural diet of green abalone *Haliotis fulgens* during the 1997 to 1998 el Niño event in Baja California Sur, Mexico. J. Shellfish Res. 31:1–6.
- Meier-Augenstein, W. 2002 Stable isotope analysis of fatty acids by gas chromatography isotope ratio mass spectrometry. Anal. Chim. Acta. 465:63–79.
- Micheli, F., A. Saenz-Arroyo, A. Greenley, L. Vázquez, J.A. Espinoza Montes, M. Rossetto, G.A. De Leo. 2012. Evidence that marine reserves enhance resilience to climatic impacts. PLoS One. 7:e40832.
- Morales-Bojórquez, E., M.O. Muciño-Díaz, J.A. Vélez-Barajas. 2008. Analysis of the Decline of the Abalone Fishery (*Haliotis fulgens* and *H. corrugata*) along the Westcentral Coast of the Baja California Peninsula, Mexico. J. Shellfish Res. 27(4): 865-870
- Morales-Zárate, M.V., S. E. Lluch-Cota, D. Voltolina, E. M. Muñoz-Mejía. 2000. Comparación entre zonas de alta actividad biológica en la costa occidental de Baja California, Punta Eugenia y Punta Baja. En: Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, S.E., Elorduy, J., Ponce G. BACs: Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. La Paz, BCS. 99–110.

- Morris, P.A. 1966. A field guide to Pacific Coast Shells including shells of Hawaii and the Gulf of California. Houghton Mifflin Company. 2da ed. USA.
- Muñoz-López, T. 1976. Resultados Preliminares de Un Método Para Determinar Edad En Abulones (*Haliotis Spp.*) de Baja California. En: Memorias del primer simposium nacional de recursos pesqueros masivos de México. SIC./ Subsecretaria de pesca, Instituto Nacional de la Pesca, Ensenada B.C. México. 281–301.
- Pinnegar, J.K., N.V.C. Polunin. 2000. Contributions of stable-isotope data to elucidating food webs of Mediterranean rocky littoral fishes. *Oecologia* 122:399–409.
- Perry, A.L., P.J. Low, J.R. Ellis, J.D. Reynolds. 2005. Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science*. 308:1912-1915.
- Przeslawski, R., I. Falkner, M. B. Ashcroft, P. Hutchings. 2012. “Using Rigorous Selection Criteria to Investigate Marine Range Shifts.” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 113: 205–212.
- Philander, S. G. H. 1985. El Niño and La Niña. *Journ. Atms. Scien.* 42(23): 2652-2662.
- Polovina, J. J. 1996. Decadal variations in the trans-Pacific migrations of northern bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) coherent with climate-induced change in prey abundance. *Fish. Oceanogr.* 5(2):114-119.
- Ponce-Díaz. G. 2004. Efecto de la mortalidad por pesca y la variabilidad climática en la pesquería del abulón. Tesis de Docotrado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, BCS.
- Pörtner, H.O., D. Karl, P.W. Boyd, W. Cheung, S.E. Lluch-Cota, Y. Nojiri, D.N. Schmidt, P. Zavialov. 2014: Ocean systems. En: Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R.

- Mastrandrea, L.L. White (eds.) Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change]. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom, pp. 411- 484.
- Robertson, D.R., K.L. Cramer. 2009. Shore fishes and biogeographic subdivisions of the Tropical Eastern Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 380:1–17.
- Roemmich, D., J. McGowan. 1995. Climatic warming and the decline of zooplankton in the California Current. *Science.* 267:1324-1326.
- Rogers-Bennett, L. 2007. Is climate change contributing to range reductions and localized extinctions in northern (*Haliotis kamtschatkana*) and flat (*Haliotis walallensis*) abalones? *Bull. Mar. Sci.* 81(2): 283-296.
- Root, T. L., J.T. Price, K.R. Hall, S.H. Schneider, C. Rosenzweig, J.A. Pounds. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature.* 421: 57–60.
- Ruiz-Campos, G., S. González-Guzmán, A. Ramírez-Valdéz, A.F. González-Acosta, J.L. Castro-Aguirre, J. De La Cruz-Agüero. 2010. Composition, density and biogeographic affinities of the rocky intertidal fishes on the western coast of the Baja California Peninsula, Mexico. *CalCOFI Rep.* 51:210–220.
- Sorte, C. J. B., S. J. Jones, L. P. Miller. 2011. Geographic Variation in Temperature Tolerance as an Indicator of Potential Population Responses to Climate Change. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 400(1-2):209–217. doi:10.1016/j.jembe.2011.02.009.
- Serviere-Zaragoza, E., D. Gómez-López, G. Ponce-Díaz. 1998. The Natural Diet of the Green Abalone (*Haliotis fulgens* Philippi) in the Southern Part of Its Range, Baja California Sur, México, Assessed by an Analysis of Gut Contents. *J. Shellfish. Res.* 17 (3): 777–782.

- Serviere-Zaragoza, E., A. Mazariegos-Villareal, G. Ponce-Díaz. 2000. The effect of seaweed diets on growth of green abalone, *Haliotis fulgens*, from Baja California, Mexico. *J. Phycol.* 36 (s3): 62–62. doi:10.1046/j.1529-8817.1999.00001-184.x.
- Serviere-Zaragoza, E., a. Mazariegos-Villarreal, T. Reynoso-Granados, R. Robles-Hernández, P. Monsalvo-Spencer, G. Ponce-Díaz, A. Castro, and A. Hernández-Llamas. 2009. Patterns of growth of juvenile Pink Abalone *Haliotis corrugata* fed re-hydrated natural feeds at a laboratory and a hatchery. *Aquac. Nutr.* 15 (3): 241–246. doi:10.1111/j.1365-2095.2008.00588.x.
- Sierra-Rodríguez, P., M. Mucino-Díaz. J.L. Gutiérrez-González J.R. Turrubiates-Morales. 2006. La Pesquería de Abulón. En: Arreguín-Sánchez F., Beléndez-Moreno, L., Gómez-Humarán, I.M., Solana-Sansores, R., Rangel-Dávalos, C. (eds.) *Sustentabilidad y pesca responsable en México*, SEMARNAT. Mexico. DF. 3-38.
- Sierra, R.P., E. Zárate, M. Muciño, A. Vélez. 1998. Incorporación de la variabilidad ambiental en los modelos de producción excedente e incertidumbre en el proceso de ajuste. Informe Técnico del Instituto Nacional de la Pesca.
- Siqueiros-Beltrones, D., S. A. Guzmán-del-Proo, E. Serviere-Zaragoza. 2005. Main diatom taxa in the natural diet of juvenile *Haliotis fulgens* and *H. corrugata* (Mollusca : Gastropoda ) in Bahía Tortugas and Bahía Asuncion. *Pacific Sci.* 59 (4): 581–592.
- Stramma, L., G.C. Johnson, J. Sprintall, V. Mohrholz. 2008. Expanding oxygen-minimum zones in the tropical oceans, *Science*, 320, 655–658, doi:10.1126/science.1153847.
- Tegner, M. J., P. L. Haaker, K. L. Riser, L. I. Vilchis. 2001. Climate Variability, Kelp Forests, and the Southern California Red Abalone Fishery. *J. Shellfish Res.* 20 (2): 755–763.

- Tegner, M. J., P. A. Breen, C. E. Lennert. 1989. Population Biology of Red Abalones, *Haliotis Rufescens*, in Southern California and Management of the Red and Pink, *H. Corrugata*, Abalone Fisheries. *Fish. Bull.* 87 (2): 313–339.
- Turrubiates-Morales, J. M., and J. L. Castro-Ortiz. 1989. Growth of *Haliotis Fulgens* in Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. ). En: S. A. Guzmán del Prío, M. J. Tegner, and S. A. Sheperd (eds.). Proceedings of the first International Symposium. Abalone of the World: Biology, Fisheries and Culture. *Fish. Res. Pap. Dep. Fish. (S. Aust).* Adelaide, South Australia. 10-15.
- Vaquer-Sunyer, R., C. M. Duarte. 2008. Thresholds of Hypoxia for Marine Biodiversity. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 105 (40): 15452–7. doi:10.1073/pnas.0803833105.
- Vilchis, L. I., M. J. Tegner, J. D. Moore, C. S. Friedman, K. L. Riser, T. T. Robbins, and P. K. Dayton. 2005. Ocean Warming Effects on Growth, Reproduction, and Survivorship of Southern California Abalone. *Ecol. Appl.* 15 (2): 469–480.
- de Waal, S.W.P., G.M. Branch, R. Navarro. 2003. Interpreting evidence of dispersal by *Haliotis midae* juveniles seeded in the wild. *Aquaculture.* 221:299–310.
- Walther, G.R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T.J.C. Beebee, J.M. Frometin O. Hoegh-Guldberg, F. Bairlein. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature.* 416: 389–95
- Whitney, F. A., H.J. Freeland, M. Robert. 2007. Persistently declining oxygen levels in the interior waters of the eastern subarctic Pacific. *Prog. Oceanogr.* 75: 179–199.
- Won, N.-I., T. Kawamura, T. Onitsuka, J. Hayakawa, S. Watanabe, T. Horii, H. Takami, Y. Watanabe. 2007. Community and trophic structures of abalone *Haliotis diversicolor* habitat in Sagami Bay, Japan. *Fish. Sci.* 73 (5): 1123–1136. doi:10.1111/j.1444-2906.2007.01444.x.

- Won, N.-I., T. Kawamura, H. Takami, Y. Watanabe. 2008. Applicability of Stable Isotope Analyses for ecological studies of abalone: Estimation of fractionation values and natural diets. *J. Shellfish Res.* 27 (4): 871–879. doi:10.2983/0730-8000(2008)27[871:AOSIAF]2.0.CO;2.
- Woodby, D., R. Larson, J. Rumble. 2000. Decline of the Alaska abalone (*Haliotis spp.*) fishery and prospects for rebuilding the stock. *Can. Spec. Publ. Fish Aquat. Sci.* 130: 25–31.
- Wooster, W.S. D.L. Fluharty. (eds.). 1985. El Niño North: Niño effects in the eastern subarctic Pacific Ocean. Washington Sea Grant Prog. University of Washington. 312 p.
- Zúñiga, G., S. A. Guzmán del Prío, R. Cisneros, G. Rodríguez. 2000. Population Genetic Analysis of the abalone *Haliotis fulgens* (Mollusca: Gastropoda) in Baja California México. *J. Shellfish Res.* 19(2): 853–859.



## **ANEXOS**

### **1. Listado de especies recolectadas y su presencia/ausencia por localidad**

### **2. Artículos publicado**

Differences in Diet of Green (*Haliotis fulgens*) and Pink (*Haliotis corrugata*) Wild Abalone along the Pacific Coast of the Baja California Peninsula, Using Stable Isotope Analyses

P. David Vega-García, Alejandra Piñón-Gimate, Nurenkaya Vélez-Arellano and Salvador E. Lluch-Cota

Journal of Shellfish Research, 34(3):879-884.

### **3. Artículo sometido**

Detection of a geographically fixed center of high abundance of macroinvertebrates along the west coast of Baja California

P. David Vega-García, Fiorenza Micheli, Héctor Reyes-Bonilla, Salvador E. Lluch-Cota

PlosOne

## ANEXO 1

## Listado de especies recolectadas y su presencia/ausencia por localidad

Localidades de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Localidades analizadas en la tesis y artículo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Arcidae (Lamarck, 1809)				X					X	X	X			X			X	X			X		X						
Glycymeris sp da Costa, 1778												X						X	X						X				
Mytilus sp Linnaeus, 1758									X											X		X		X	X	X			
Crassostrea sp Sacco, 1897			X								X	X	X											X	X				
Octopus bimaculatus Verrill, 1883							X				X	X	X				X												
Aplysia californica (J. G. Cooper, 1863)	X																												
Calliostoma annulatum (Lightfoot, 1786)				X																									
Calliostoma antonii (Koch in Philippi, 1843)	X																												
Calliostoma canaliculatum (Lightfoot, 1786)				X																									
Calliostoma gloriosum Dall, 1871				X																									
Diodora aspera (Rathke, 1833)					X																X			X		X			
Megathura crenulata (Sowerby I, 1825)	X	X						X	X	X				X															
Haliotis corrugata W. Wood, 1828						X		X	X		X	X	X	X														X	
Haliotis fulgens Philippi, 1845					X	X	X	X		X	X									X								X	
Haliotis rufescens Swainson, 1822					X																								
Norrisia norrisii (G. B. Sowerby I, 1838)		X	X				X	X	X																				
Tegula aureotincta (Forbes, 1850)					X	X	X	X		X	X	X																X	
Tegula eiseni Jordan, 1936					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X														X	
Tegula regina Stearns, 1892	X	X																											
Megastrea undosa (W. Wood, 1828)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X														
Pomaulax gibberosus (Dillwyn, 1817)	X	X	X	X	X			X			X																		
Turbo argyrostomus Linnaeus, 1758																						X							
Bittium alternatum (Say, 1822)																					X								
Nassarius sp Duménil, 1805																					X								
Crossata ventricosa (Broderip, 1833)								X																					
Crepidula lingulata (Gould, 1846)	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X							X			X					
Neobernaya spadicea (Swainson, 1823)	X	X		X	X	X																							
Pseudozonaria arabicula (Lamarck, 1810)									X	X	X	X	X								X							X	
Polinices uber (Valenciennes, 1832)						X																							
Cyphoma emarginatum (G. B. Sowerby I, 1830)																												X	
Simnia vidleri (G. B. Sowerby III, 1881)									X																X				
Jenneria pustulata (Lightfoot, 1786)														X															
Pusula solandri (G. B. Sowerby I, 1832)				X	X						X			X															
Kelletia kelletii (Forbes, 1850)	X	X		X	X						X			X												X			
Latisipho aphelus (Dall, 1889)								X																					
Neptunea sp Röding, 1798																					X		X						
Trigonostoma goniostoma (G. B. Sowerby I, 1832)																										X			
Columbella haemastoma G. B. Sowerby I, 1832											X														X		X		
Californiconus californicus (Reeve, 1844)	X			X	X	X	X	X	X					X	X	X		X						X		X			
Conasprella perplexa (G. B. Sowerby II, 1857)																			X				X		X				
Mitra idae Melvill, 1893				X					X																X	X	X		
Ceratostoma nuttalli Conrad, 1837							X	X			X	X															X	X	
Hexaplex radix (Gmelin, 1791)												X											X		X		X		
Maxwellia gemma (G. B. Sowerby II, 1879)									X				X										X						
Neorapana grandis (Sowerby I, 1835)							X						X					X											
Neorapana muricata (Broderip, 1832)							X																X						
Pteropurpura festiva (Hinds, 1844)	X			X			X	X						X	X										X				
Roperia poulsoni (Carpenter, 1864)			X				X	X	X		X		X	X			X		X					X	X	X			

