

Estimaciones de mortalidad de *Haliotis fulgens* y *Haliotis corrugata* en Bahía Tortugas, BCS, México, a partir de tres métodos

Jessica Adriana Navarro-González,* José Luis Gutiérrez-González* y Rebeca Sánchez-Cárdenas**

Los abulones *Haliotis fulgens* y *H. corrugata* son moluscos gasterópodos cuya pesca asegura el sustento de comunidades pesqueras de la península de Baja California, México. El manejo de la pesquería involucra el seguimiento sistemático de las poblaciones de abulón, con grandes retos en la estimación de indicadores biológicos que representen de manera insesgada la dinámica poblacional. En el presente trabajo se analizan las estimaciones de la tasa de mortalidad total (Z), obtenidas con los métodos de estructura por edades (EE), Beverton-Holt (BH) y Ssentongo-Larking (SL). El objetivo fue generar series históricas de Z (1994-2012) y distinguir tendencias entre las estimaciones de mortalidad y los cambios en la densidad de *H. fulgens* y *H. corrugata* que habitan en la zona de pesca de Bahía Tortugas, BCS. Los resultados apoyan que BH, SL y EE proporcionan estimaciones de Z cuyas tendencias de incrementos coinciden con la tendencia de pérdida de abundancia de *H. fulgens* y la posible densidad dependencia negativa de las tasas de mortalidad, no así en *H. corrugata*. Éste es un importante avance en el estudio y la estimación de parámetros que representen la dinámica de las poblaciones de abulón.

Palabras clave: Abulón, población, Bahía Tortugas, Haliotidae.

Mortality estimations of *Haliotis fulgens* and *Haliotis corrugata* in Bahia Tortugas, Mexico, using different methods

Abalones *Haliotis fulgens* and *H. corrugata* are gastropod mollusks; its fishing ensures the livelihood of communities along Peninsula of Baja California, Mexico. The current fishery management involves the systematic monitoring of abalone populations, with major challenges estimating a good biological unbiased indicator of the population dynamics. This study presents the analysis of the total mortality rate (Z) obtained by different methods: catch curve (EE), Beverton-Holt (BH) and Ssentongo-Larking (SL). The goal was to generate historical Z series (1994-2012) and distinguish trends between mortality and density changes of *H. fulgens* and *H. corrugata* inhabiting the fishing zone of Bahía Tortugas, BCS. Results support that positive trend of Z values from BH, SL and EE methods coincide with loss tendency in abundance of *H. fulgens* and possible negative density dependence of mortality rates, although not in *H. corrugata*. This is an important advance in the study and estimation of parameters of the abalone population dynamics.

Key words: Abalone, population, Bahia Tortugas, Haliotidae.

Introducción

El abulón azul *Haliotis fulgens* Philippi 1845 y el abulón amarillo *H. corrugata* Gray 1828 son moluscos gasterópodos que habitan en las zonas costeras rocosas (Arredondo-Álvarez *et al.* 2006) y las especies que soportan la pesquería de abulón en México, actividad que inició a mediados

del siglo XIX (Ponce-Díaz *et al.* 2000). La pesca se desarrolla entre la zona intermareal y las 15 brazas de profundidad (27 m), desde Isla Margarita hasta Isla Coronados en la península de Baja California. El valor de la producción supera los 70 millones de pesos (SAGARPA 2011), derrama económica anual que reciben las comunidades pesqueras de la región. La captura récord fue de 6 000 t en la década de 1950 (Prince y Guzmán del Prío 1993) y en los últimos años oscila alrededor de 300 t (DOF 2012). Históricamente, las poblaciones de abulón han presentado disminuciones e incrementos en su biomasa, que pueden deberse tanto a la intensidad de la explotación pesquera como a los efectos del ambiente sobre

* Centro Regional de Investigación Pesquera - La Paz. Instituto Nacional de Pesca. SAGARPA. Carretera a Pichilingue km 1, entre calle Monterrey, Colonia el Esterito, La Paz, BCS. CP 23020. jessica.navarro@inapesca.gob.mx

** Facultad de Ciencias de Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. Paseo Claussen s/n Col. Los Pinos, Centro. Mazatlán. Sinaloa. CP 82000.

las poblaciones, como la reciente mortandad ocurrida en la costa noroeste de Baja California Sur, con disminuciones de densidad de abulón de hasta 89% del año 2008 a 2012 (Salcido-Guevara *et al.* 2013¹).

Las medidas de manejo que regulan la pesca de abulón desde 1981 son periodos de veda, cuotas de captura, tallas mínimas, la no captura en bajamar y la entrega del abulón vivo en las plantas procesadoras para la verificación de las tallas (León-Carballo y Muciño-Díaz 1996, DOF 2012). Asimismo, el Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA) mantiene un seguimiento sistemático de las poblaciones de abulón en colaboración con los pescadores, para determinar el estatus y el grado de aprovechamiento de cada temporada de captura. Entre los retos para el manejo pesquero está la estimación de indicadores biológicos que representan de manera insesgada la dinámica poblacional del abulón y que son importantes para el modelado y el pronóstico de los cambios en las poblaciones o la estimación de tasas de explotación sustentables (Simpfendorfer *et al.* 2005). Es el caso de la mortalidad total (Z), que es la tasa instantánea relativa de variación del número de supervivientes que muere debido a las causas por pesca, factores ambientales, enfermedades, depredación, entre otras (Caldima 2003). Las estimaciones de Z de abulón son escasas y no se ha hecho seguimiento sistemático del parámetro en las costas mexicanas. Sin embargo, es importante medir y comprender la mortalidad, por ser uno de los principales mecanismos que regulan el tamaño de las poblaciones naturales, además del reclutamiento (Shepherd 1990).

Bahía Tortugas es una zona importante de pesca de abulón desde los años cincuenta (Prince y Guzmán del Prío 1993) y sus bancos han sido de los más estudiados. Empero, las estimaciones de Z en Bahía Tortugas han sido pocas y temporalmente puntuales, un ejemplo son las realizadas por Marín (1981), quien reporta valores de

$Z = 0.46$ a 0.53 para *H. corrugata*. En otras zonas, la Z se ha definido en intervalos de 0.61 a 1.17 (Punta Abreojos) y de 0.55 a 1.04 (Isla Cedros) (Doi *et al.* 1977, Guzmán del Prío 1992). Respecto a *H. fulgens*, son pocos los trabajos en los que se hace alusión a Z ; en uno de ellos se menciona un intervalo de $Z = 0.29$ a 0.51 en isla Natividad (Shepherd *et al.* 1998). En Bahía Tortugas se han hecho estimaciones de la tasa de pérdida de *H. fulgens* por medio de la mortalidad natural (M), por Shepherd *et al.* (1991; $M = 0.10-0.30$) y Guzmán del Prío (1994; $M = 0.310$), además de la consideración que realizaron Prince y Guzmán del Prío (1993; $M = 0.25$); en Bahía Asunción, BCS, Ponce-Díaz *et al.* (2000) estimaron $M = 0.576$.

El presente trabajo presenta una evaluación de los valores de Z obtenidos con métodos aplicables con la información disponible, con el objetivo de generar una serie histórica de Z (1994-2012) y distinguir tendencias entre las estimaciones de mortalidad y los cambios en la densidad de *H. fulgens* y *H. corrugata* que habitan la zona de pesca de Bahía Tortugas.

Materiales y métodos

Datos. El acervo de datos se compone de conteos de abulón por unidad de muestra (10 m^2) y registros de longitud total de la concha en milímetros de 21 289 de *H. fulgens* y 7 062 de *H. corrugata*, generados por el INAPESCA con el apoyo del sector pesquero, de muestreos realizados en los meses de septiembre a marzo de 1994 a 2012, en la zona de pesca de Bahía Tortugas (Fig. 1). El muestreo consistió en explorar 10 unidades de área en sitios al azar, por cada 500 m de litoral y desde la orilla hasta los 24 m de profundidad. Los abulones encontrados en cada sitio de muestreo fueron extraídos, identificados, contados, medidos y regresados al mar.

Estimación de la mortalidad. La tasa de mortalidad total (Z) se calculó con métodos aplicables a partir de la información disponible, para obtener un valor particular de Z para cada año.

1) **Método de estructura por edades** (EE, Sparre y Venema 1995): Los datos de longitud fueron transformados a edades con la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy (ECVB). Los

1. Salcido-Guevara LA, JL Gutiérrez-González y R Sánchez-Cárdenas. 2013. Estrategias y tácticas de manejo para las poblaciones deterioradas de abulón azul *Haliotis fulgens* y abulón amarillo *Haliotis corrugata* en la península de Baja California. Informe técnico (Documento interno). INAPESCA. CRIP - La Paz. 125p.

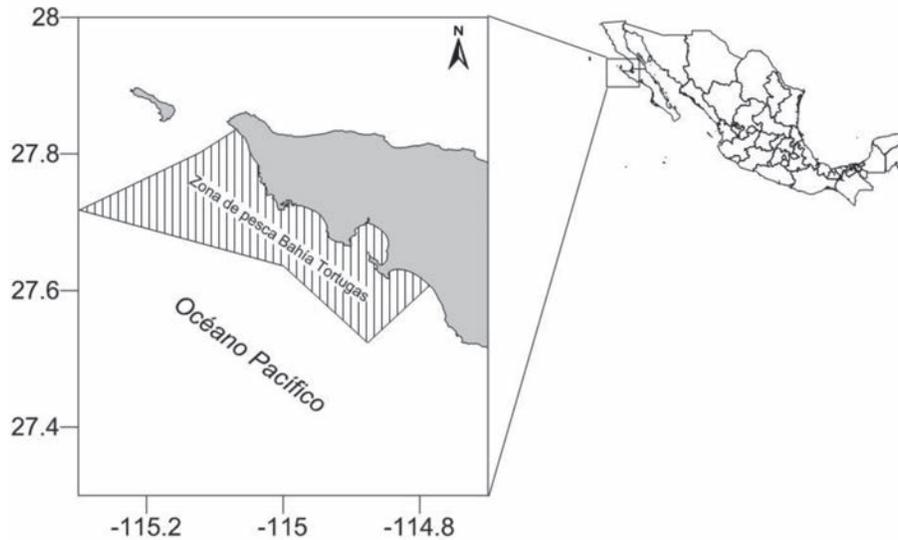


Fig. 1. Zona de pesca de abulón en Bahía Tortugas, Baja California Sur.

valores de la tasa de crecimiento (K) y la longitud infinita (L_{∞}) utilizados fueron los reportados por Shepherd *et al.* (1991) para *H. fulgens* y por Marín (1981) para *H. corrugata* en Bahía Tortugas. Se estimaron las distribuciones de frecuencia de edad por especie y año. El valor de Z se estimó a partir del modelo de extinción exponencial ajustado a la parte descendiente de la distribución de frecuencia de edad o curva de captura a partir del grupo de edad más frecuente de acuerdo con Sparre y Venema (1995).

- 2) *Método de Beverton-Holt* (BH, Beverton y Holt 1956): La Z se estimó a partir de los parámetros de la ECVB (L_{∞} y K ; Marín 1981, Shepherd *et al.* 1991), la longitud mínima (l_c) y la longitud promedio (\bar{l}) de la muestra, con la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{K(L_{\infty} - \bar{l})}{\bar{l} - l_c} \quad \text{Ec. 1}$$

- 3) *Método de Ssentongo-Larkin* (SL, Ssentongo y Larkin 1973): El procedimiento utiliza los valores de L_{∞} , K , l_c , y \bar{l} , además del tamaño de la muestra (n) y el logaritmo neperiano, por medio de la siguiente relación:

$$Z = \frac{n}{n+1} \frac{k}{\log_e(1 - l_c/L_{\infty}) - \log_e(1 - \bar{l}/L_{\infty})} \quad \text{Ec. 2}$$

Evaluación de los indicadores de Z. Las series de mortalidad obtenidas fueron exploradas para observar su variación interanual por medio de anomalías estandarizadas (AE), empleando la mortalidad en el año i (M_i), el valor medio de mortalidad para el periodo 1994-2012 (M_m) y la desviación estándar (DE).

$$AE = \frac{(M_i - M_m)}{DE} \quad \text{Ec. 3}$$

Las diferencias estadísticas entre los valores estimados de Z derivadas de los distintos métodos, se evaluaron mediante una prueba de Kruskal-Wallis (H) con un nivel de significancia (α) de 0.05 (Zar 2010). Asimismo, se exploraron posibles tendencias entre los valores de Z y la densidad (D) o cambios de densidad (CD) de *H. fulgens* y *H. corrugata*. La serie histórica de D (abulones $\cdot m^{-2}$) se calculó utilizando los estimadores del muestreo aleatorio estratificado (Cochran 1982). El CD es la proporción anual de cambio en la densidad de la población y se estimó con la ecuación:

$$CD = (\bar{D}_2 - \bar{D}_1) / \bar{D}_1 \quad \text{Ec. 4}$$

siendo \bar{D}_2 la densidad del año 2 y \bar{D}_1 la densidad del año 1. El CD representa principalmente la ganancia en densidad debido al reclutamiento y las pérdidas resultado de la mortalidad natural (M) y la mortalidad por pesca (F) (Caley *et al.* 1996,

Cadima 2003). La correspondencia estadística entre los valores de Z con D y CD se evaluó mediante el coeficiente de correlación por rangos de Spearman (r_s) (Spearman 1904). La significancia estadística de r_s fue definida a partir de una prueba t de Student con $n-2$ (n , número de datos) grados de libertad y $\alpha = 0.05$. Los análisis se realizaron utilizando el programa estadístico Statistica 8.0 (StatSoft Inc USA).

Resultados

Estructura de tallas y edades. La longitud total promedio de *H. fulgens* fue de 156.5 mm, con un intervalo de 11 mm a 250 mm de longitud. Las tallas de *H. corrugata* se observaron en un intervalo de 22 mm y 207 mm de longitud total, con una talla media de 139.4 mm. Las tallas más frecuentes correspondieron al grupo de edad 6 para ambas especies (Tabla 1).

Tabla 1

Frecuencia de tallas a las que corresponde cada grupo de edad de *Haliotis fulgens* y *Haliotis corrugata* en Bahía Tortugas, BCS durante los años 1994-2012

Edad	<i>H. fulgens</i>		<i>H. corrugata</i>	
	Talla	fr	Talla	fr
1	33	19	32	4
2	77	114	73	52
3	109	488	102	207
4	132	2 053	121	816
5	148	3 664	135	1 371
6	160	5 236	144	1 676
7	169	3 253	151	1 105
8	175	2 635	155	560
9	180	1 503	158	239
10	183	486	160	309

La talla representa el límite superior de cada intervalo de clase. fr = frecuencia.

Mortalidad. La tabla 2 muestra los valores de Z para el periodo de 1994 a 2012. Las estimaciones fueron estadísticamente diferentes entre métodos (EE, BH y SL) en *H. fulgens* ($H = 49.793$, $p < 0.001$) y en *H. corrugata* ($H = 35.763$, $p < 0.001$). Las Z de EE presentaron magnitudes entre 0.31 y 0.86 en las dos especies, mayores a los valores estimados con BH (0.07-0.35) y SL (0.19-0.49).

Tabla 2

Tasa instantánea de mortalidad total (Z) de *Haliotis fulgens* y *Haliotis corrugata**, así como los valores de cambio de densidad (CD) de 1994 a 2012

Año	EE	EE*	BH	BH*	SL	SL*	CD	CD*
1994	0.78	0.70	0.15	0.31	0.28	0.45		
1995	0.86	0.69	0.13	0.31	0.26	0.46	0.34	-0.07
1996	0.70	0.59	0.09	0.17	0.22	0.30	0.02	0.16
1997	0.60	0.55	0.09	0.22	0.21	0.36	-0.03	-0.18
1998	0.67	0.67	0.09	0.29	0.21	0.43	0.40	-0.20
1999	0.60	0.62	0.10	0.14	0.22	0.27	-0.38	-0.39
2000	0.35	0.39	0.12	0.16	0.25	0.29	0.47	0.05
2001	0.46	0.39	0.08	0.22	0.20	0.36	0.19	0.23
2002	0.44	0.42	0.09	0.27	0.21	0.41	0.13	0.46
2003	0.34	0.50	0.08	0.16	0.20	0.30	-0.09	0.38
2004	0.43	0.55	0.08	0.15	0.20	0.28	-0.01	0.06
2005	0.56	0.39	0.11	0.22	0.23	0.36	-0.22	-0.14
2006	0.48	0.51	0.09	0.16	0.21	0.29	0.24	-0.19
2007	0.70	0.31	0.07	0.15	0.19	0.28	-0.10	0.01
2008	0.68	0.38	0.08	0.20	0.20	0.33	0.06	0.31
2009	0.83	0.41	0.14	0.19	0.27	0.33	-0.44	-0.56
2010	0.74	0.66	0.15	0.35	0.28	0.49	-0.13	-0.45
2011	0.84	0.33	0.13	0.13	0.25	0.26	0.06	-0.13
2012	0.62	0.41	0.10	0.33	0.22	0.46	0.11	-0.48
Prom.	0.61	0.50	0.10	0.22	0.23	0.35	0.03	-0.06

EE = Estructura por edades, BH = Beverton-Holt, SL = Ssentongo-Larkin, CD = cambio de densidad.

Tendencias. Las Z de BH y SL fluctuaron de manera similar aunque con diferentes magnitudes en ambas especies, siendo mayores los valores de SL (Fig. 2); la similitud en la variación se observa también en el traslape de las AE de BH y SL (Fig. 3). Las Z de EE y sus respectivas AE mostraron algunos cambios en el mismo sentido de los valores de BH y SL (Figs. 2 y 3).

La serie histórica de las Z de *H. fulgens* presenta forma de U, que se observa claramente a través de las AE (Fig. 3a); la tendencia inició con una mortalidad alta a partir del año 1994 y alcanzó los valores mínimos alrededor de 2003, con un incremento sucesivo que mostró los valores máximos cercanos al año 2010.

La serie histórica de Z de *H. corrugata* también presentó los valores más altos al principio de 1994 y hacia el final del periodo (2010); si bien mostró un declive muy fluctuante entre 1994 y 2007 y continuó una tendencia de incremento que alcanzó el valor máximo en el año 2010 (Fig. 3b).

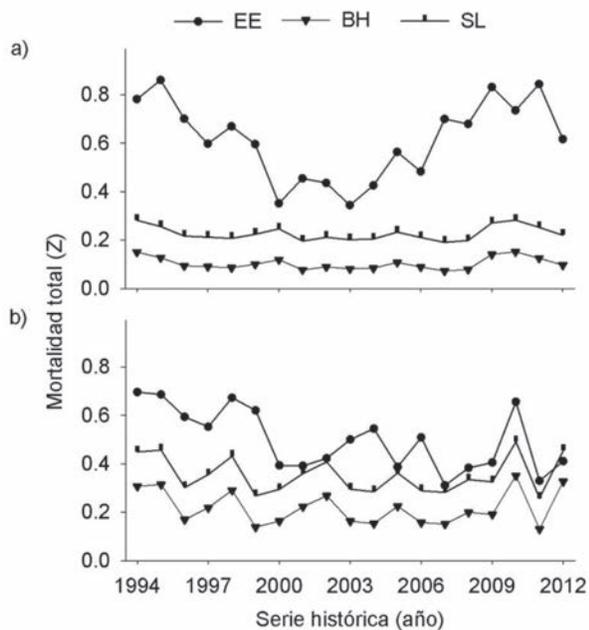


Fig. 2. Variación de la tasa instantánea de mortalidad total (Z): a) abulón azul (*Haliotis fulgens*) y b) abulón amarillo (*Haliotis corrugata*). EE = Estructura por edades, BH = Beverton-Holt, SL = Ssentongo-Larkin.

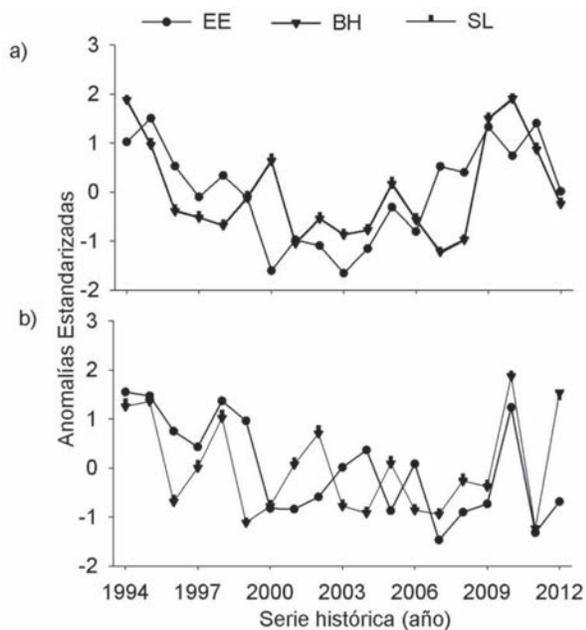


Fig. 3. Anomalías estandarizadas de la tasa de mortalidad total (Z): a) abulón azul (*Haliotis fulgens*) y b) abulón amarillo (*Haliotis corrugata*). EE = Estructura por edades, BH = Beverton-Holt, SL = Ssentongo-Larkin.

Z versus densidad. La densidad mostró una tendencia en forma de \cap en *H. fulgens* en un inter-

valo de 0.15 a 0.38 abulones \cdot m⁻², así como un comportamiento oscilatorio en *H. corrugata* en un intervalo de 0.01 a 0.13 abulones \cdot m⁻² (Fig. 4).

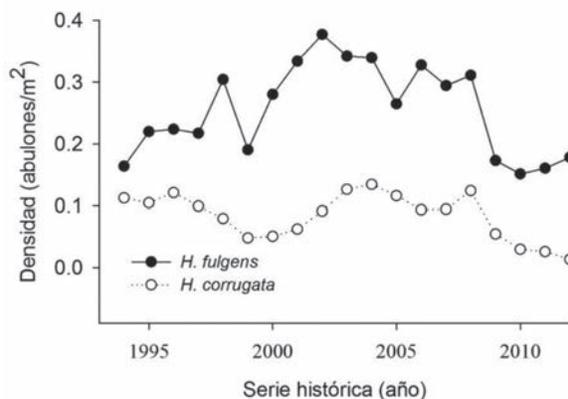


Fig. 4. Densidad histórica de abulón azul (*Haliotis fulgens*) y abulón amarillo (*Haliotis corrugata*) de la zona de pesca de Bahía Tortugas, México.

Las r_s sugieren relaciones inversas y significativas ($p < 0.05$) entre Z de todos los métodos y la D de *H. fulgens* ($p < 0.05$) (Tabla 3), mientras que los resultados de *H. corrugata* no presentaron sustento estadístico ($p > 0.05$) y, como excepción, el valor de r_s entre Z de EE y D fue positivo (Tabla 3, Fig. 5).

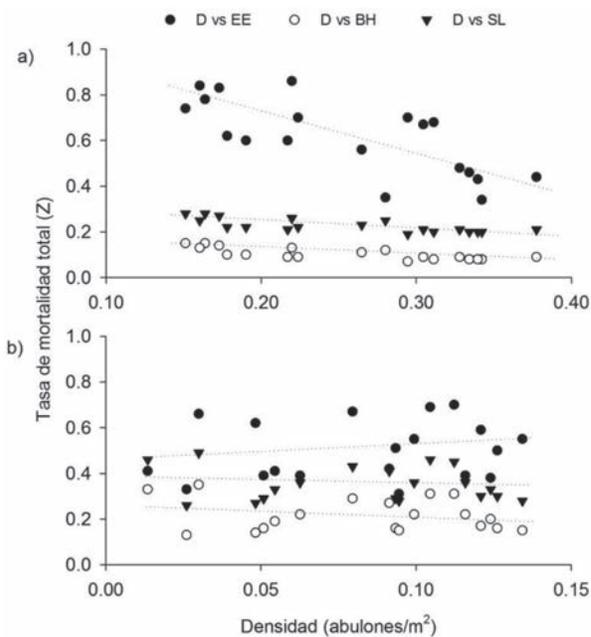


Fig. 5. Relación entre la tasa de mortalidad total (Z) y la densidad (D) para a) *Haliotis fulgens* y b) *Haliotis corrugata*. EE = Estructura por edades, BH = Beverton-Holt, SL = Ssentongo-Larkin, la línea punteada indica la tendencia.

Tabla 3

Valores obtenidos a partir de la correlación por rangos de Spearman (r_s) de la mortalidad total (Z) con respecto a la densidad (D) y los cambios de densidad (CD)

Especie	Variables	n	r_s	$t_{(n-2)}$	p
<i>H. fulgens</i>	D vs EE	19	-0.736	-4.479	0.000
	D vs BH	19	-0.799	-5.486	0.000
	D vs SL	19	-0.793	-5.373	0.000
	CD vs EE	18	-0.169	-0.688	0.502
	CD vs BH	18	-0.082	-0.329	0.747
	CD vs SL	18	-0.082	-0.327	0.748
	CD* vs EE	8	-0.587	-1.775	0.126
	CD* vs BH	8	-0.647	-2.077	0.083
	CD* vs SL	8	-0.647	-2.077	0.083
	<i>H. corrugata</i>	D vs EE	19	0.141	0.586
D vs BH		19	-0.107	-0.442	0.664
D vs SL		19	-0.086	-0.357	0.725
CD vs EE		18	-0.275	-1.146	0.269
CD vs BH		18	-0.202	-0.826	0.421
CD vs SL		18	-0.190	-0.773	0.451
CD* vs EE		10	0.024	0.069	0.947
CD* vs BH		10	-0.219	-0.634	0.544
CD* vs SL		10	-0.171	-0.490	0.637

D = densidad, CD = cambio de densidad, EE = estructura por edades, BH = Beverton-Holt, SL = Ssentongo-Larkin, n = número de datos, r_s = coeficiente de correlación por rangos de Spearman, $t_{(n-2)}$ = estadístico de la prueba t de Student, p = probabilidad de significancia, $p \leq 0.05$ indica r_s estadísticamente diferente de cero, * = sólo valores negativos del CD.

Las correlaciones (r_s) entre los tres estimadores de Z y el CD carecieron de significancia estadística, al igual que con el CD negativo ($p > 0.05$) y la mayoría fue inversa, excepto la correlación entre Z de EE y el CD de *H. corrugata* (Tabla 3, Figs. 6 y 7).

Discusión

La mortalidad es un parámetro esencial para el entendimiento de la dinámica de cualquier población (Simpfendorfer *et al.* 2005). Sin embargo, las investigaciones respecto a la mortalidad en las poblaciones de abulón son limitadas y una razón es la dificultad de la cuantificación precisa del parámetro, debido a la cantidad y el tipo de información requerida en términos ideales. Los valores de Z previamente reportados para

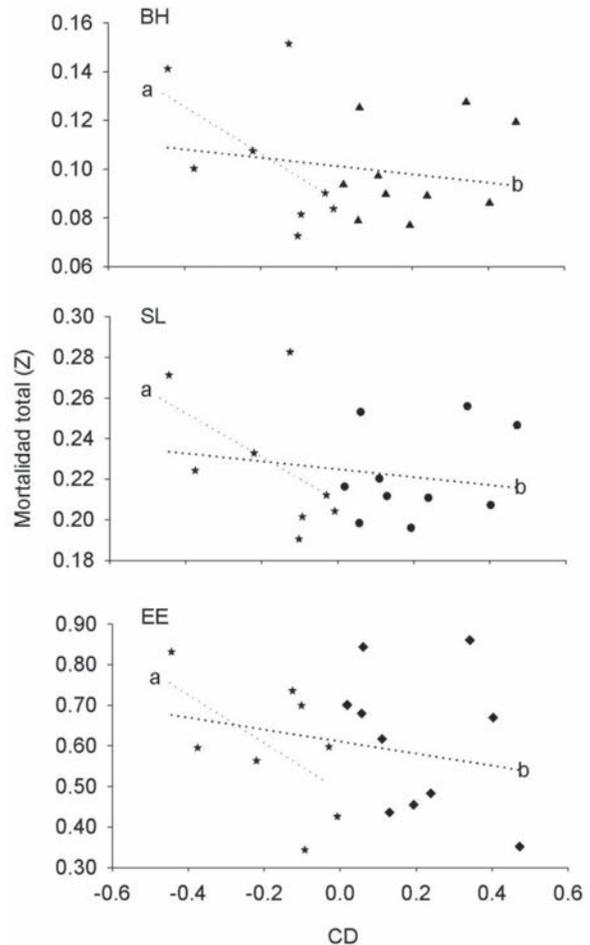


Fig. 6. Relación entre la tasa de mortalidad total (Z) y el cambio de densidad (CD) para *Haliotis fulgens*. EE = Estructura por edades, BH = Beverton-Holt, SL = Ssentongo-Larkin, a = tendencia de Z con CD negativos, b = tendencia de Z con CD.

H. corrugata van de Z = 0.46 a 0.53 en Bahía Tortugas (Marín 1981), de 0.61 a 1.17 en Punta Abrejos y de 0.55 a 1.04 en Isla Cedros (Doi *et al.* 1977, Guzmán del Prío 1992). Nótese que las Z de Punta Abrejos e Isla Cedros se traslapan y se encuentran en un intervalo mayor con respecto a los valores del presente trabajo, siendo las estimaciones de Punta Abrejos las más altas. Respecto a *H. fulgens*, son pocos los trabajos en los que se hace alusión a Z, entre ellos, se menciona un intervalo de Z = 0.29 a 0.51 en Isla Natividad (Shepherd *et al.* 1998), que entra en el estimado que aquí se presenta y que va de 0.07 a 0.86; sin embargo, la magnitud de los resultados de este trabajo (Z) se aproximan más a los valores obtenidos por otros autores para la tasa

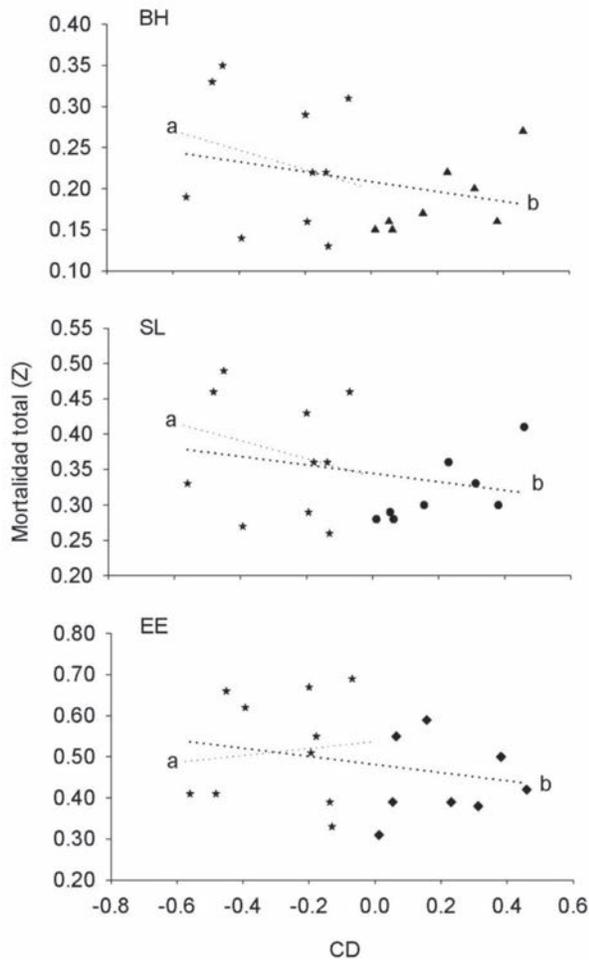


Fig. 7. Relación entre la tasa de mortalidad total (Z) y el cambio de densidad (CD) para *Haliotis corrugata*. EE = Estructura por edades, BH = Beverton-Holt, SL = Ssentongo-Larkin, a = tendencia de Z con los CD negativos, b = tendencia de Z con CD .

instantánea de mortalidad natural ($M = 0.07$ a 0.58) (Shepherd y Breen 1992, Ponce-Díaz *et al.* 2000). En otras poblaciones de abulón sometidas a la presión por pesca, como es el caso de *Haliotis rufescens* Swainson 1822 en California, se han estimado tasas de mortalidad altas de 1.02 a 1.35 (Leaf *et al.* 2007). Estos valores son coherentes con las magnitudes que puede tomar el parámetro Z , de acuerdo con los métodos utilizados; no obstante, las diferencias pueden deberse tanto al método, como a particularidades del conjunto de datos o a los mismos procesos biológicos según la región o la temporada de estudio.

Los valores altos de Z de EE y sus discrepancias en la variación interanual con respecto a las estimaciones BH (magnitudes menores) y SL

(magnitudes intermedias), en ambas especies, sugieren que se generan magnitudes y tendencias particulares de acuerdo con los datos y parámetros que se emplean para la estimación, así como de acuerdo con los supuestos y procedimientos matemáticos. Por ejemplo, en el caso de EE se consideraron sólo los grupos de mayor edad (en promedio a partir de los seis años), reclutados completamente a la pesquería, asumiendo que el número de reclutas que se incorporan a la población es constante cada año, al igual que la supervivencia y las causas de la pérdida de organismos por mortalidad (Espino-Barr *et al.* 2008). Por su parte, el método BH emplea la longitud media de toda la muestra e incorpora los parámetros de crecimiento de von Bertalanffy, con supuestos de un modelo de mortalidad exponencial y reproducción continua a niveles constantes (Hoenig y Hoenig 1983, Pauly 1998). Por otro lado, el procedimiento SL es similar a BH, sólo que integra el logaritmo neperiano y el tamaño de la muestra (Ssentongo y Larkin 1973). Cabe mencionar que una de las principales desventajas de las estimaciones de Z del presente trabajo es que éstas se basan en parámetros de crecimiento de acuerdo con lo establecido por Shepherd *et al.* (1991) y Marín (1981) que, aunque corresponden a la zona, necesitan actualizarse.

Pauly *et al.* (1981) y Hoenig y Hoenig (1983) recomiendan tener cuidado al emplear SL, debido a que se le ha asociado con algunas inconsistencias estadísticas, por ejemplo, con estimaciones sustancialmente mayores a las generadas por BH. Si bien los valores de Z de SL del presente trabajo fueron mayores a las Z de BH, los superaron las de EE.

Pese a las diferencias en magnitud, las series históricas de Z presentan consistencias con hechos históricos. Una es la coincidencia de las altas tasas de mortalidad de 1994 y 1995 con la disminución en la biomasa de abulón (*H. fulgens* y *H. corrugata*) registrada en dichos años en Bahía Tortugas, que pasaron de 150 toneladas (1992) a cantidades que van de 50 t a 80 t (León-Carballo y Muciño-Díaz 1996). Además, a partir de 1996, los estimados de Z menguan, lo que coincide con la instrumentación del plan de recuperación vigente para las poblaciones de abulón, que resultó en la disminución de las cuotas de captura, es decir, en la disminución en la mortalidad por

pesca (DOF 2012). Posteriormente, en 2009 se presentaron altas tasas de mortalidad, que coinciden con reportes del sector pesquero respecto a mortalidades anómalas del abulón y a la disminución de la densidad de 44% en *H. fulgens* ($CD = -0.44$) y de 56% en *H. corrugata* ($CD = -0.56$) registrada en el presente trabajo. Salcido-Guevara *et al.* (2013) mencionaron que la densidad de *H. fulgens* y *H. corrugata* seguía un declive general desde el año 2004, lo que coincidió con incrementos en los valores de Z , observados en el presente trabajo a partir de ese año. Los resultados sugieren que las altas magnitudes de Z son coherentes con pérdidas reales en la abundancia de abulón reportadas en Bahía Tortugas. Dichas reducciones han sido asociadas a la muerte de organismos por causas naturales (enfermedades, hipoxia, inanición, etc.) aún no comprobadas (Salcido-Guevara *et al.* 2013³).

Sólo en *H. fulgens* se sustentaron estadísticamente tendencias inversas entre Z de todos los métodos y D , siendo Z de BH la que mostró la mayor correlación ($r_s = -0.799$). Esto sugiere que la población de *H. fulgens* está sometida a mayores tasas de mortalidad a menores densidades (denso dependencia negativa), no así en *H. corrugata*. Una diferencia entre ambas especies es que *H. corrugata* presentó menores densidades (≤ 0.13 abulones $\cdot m^{-2}$) que oscilaron en un intervalo más estrecho, atributos que posiblemente sean insuficientes para observar una relación entre Z y D . Shepherd (1990) documentó la denso dependencia positiva de la mortalidad natural (M) por medio de una relación lineal en *Haliotis laevis* Donovan 1808 que habita la reserva marina de West Island, EU. Sin embargo, la tendencia fue inversa a la encontrada en *H. fulgens*, lo que sugirió que *H. laevis* presenta menores tasas de mortalidad a menores densidades, con base en lo que Shepherd (1990) menciona respecto a que a mayores densidades hay mayor competencia por refugio y los abulones quedan más expuestos a los depredadores. Mientras que la relación encontrada en *H. fulgens* implicaría mayor vulnerabilidad y riesgo de muerte de los abulones a menores densidades. Este caso es inexplicable por hipótesis tales como la competencia por alimento o por refugio, pero podría explicarse por la interacción depredador-presa, cuando las estrategias antidepredador resultan ineficientes

en pequeños grupos de presas (Shepherd 1990, Courchamp *et al.* 1999).

Aunque ninguna correlación entre Z y CD mostró significancia estadística, los r_s entre Z y los valores negativos de CD de *H. fulgens* se estimaron entre -0.587 y -0.647 , magnitudes consideradas fuertes de acuerdo con el método (Martínez-Ortega *et al.* 2009). El resto de los r_s no significativos fue negativo; coherente con la idea de que la ocurrencia de altas disminuciones en la densidad se manifiesta en estimaciones de altas tasas de mortalidad y viceversa.

Los resultados concuerdan con el postulado que dice que BH, SL y EE (en orden de importancia según r_s) proporcionan estimaciones de Z cuyas tendencias de incrementos coinciden con la de pérdida de abundancia de las poblaciones de *H. fulgens* y la posible denso dependencia negativa de las tasas de mortalidad, lo que es un importante avance en el estudio y la estimación de parámetros de la dinámica de las poblaciones de abulón. Esto, a pesar de las desventajas en el origen de los datos y estimaciones debido a una posible inadecuación de los parámetros, los métodos, por la variabilidad inherente al muestreo o por la variabilidad biológica que se asume constante, como el reclutamiento y su importancia para los cambios en la dinámica poblacional (Shepherd 1990, Caley *et al.* 1996). Es importante continuar revisando y actualizando otras metodologías con la finalidad de mejorar las estimaciones y el entendimiento de la dinámica de Z en las diferentes especies de abulón.

Agradecimientos

Al proyecto SAGARPA-CONACYT-2011 (163322), al POA 2013 del INAPESCA y a los pescadores por su apoyo en la realización de las evaluaciones. R. Sánchez-Cárdenas agradece el apoyo del programa de Cátedras CONACYT.

Literatura citada

Arredondo-Álvarez A, LE Igartúa-Calderón y JL del Ángel Lemus. 2006. *Glosario de términos relacionados con la pesca*. Comisión de pesca. CEDRSSA (Centro de estudios para el desarrollo

- rural sustentable y la soberanía alimentaria). México. 537p.
- Beverton RJH y SJ Holt. 1956. A review of methods for estimating mortality rates in fish populations, with special references to sources of bias in catch sampling. *Rapport set Proces-Verbaux des Réunions. Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 140: 67-83.
- Cadima EL. 2003. *Manual de evaluación de recursos pesqueros*. FAO Documento Técnico de Pesca 393. 162p.
- Caley MJ, MH Carr, MA Hixon, TP Hughes, GP Jones y BA Menge. 1996. Recruitment and the local dynamics of open marine populations. *Annual Review of Ecology and Systematics* 27: 477-500.
- Cochran WG. 1982. *Técnicas de muestreo*. Compañía Editorial Continental. México. 513p.
- Courchamp F, T Clutton-Brock y B Grenfell. 1999. Inverse density dependence and the Allee effect. *Tree* 14(10): 405-410.
- DOF. 2012. Carta Nacional Pesquera. Instituto Nacional de Pesca. *Diario Oficial de la Federación. México*. 03 de agosto 2012.
- Doi T, SA Guzmán del Prío, VA Marín, MQ Ortiz, JA Camacho y TL Muñoz. 1977. Análisis de la población y diagnóstico de la pesquería de abulón amarillo (*Haliotis corrugata*) en el área de Punta Abreojos e Isla Cedros, BC. Instituto Nacional de Pesca. México. *Serie Científica* 18: 1-19.
- Espino-Barr E, A González-Vega, H Santana-Hernández y H González-Vega. 2008. *Manual de biología pesquera*. Instituto Nacional de Pesca/ Universidad Autónoma de Nayarit. 131p.
- Guzmán del Prío SA. 1992. A review of the biology of abalone and its fishery in Mexico. *En: SA Shepherd, JM Tegner y SA Guzmán del Prío (eds.). Abalone of the World: Biology, fisheries and culture*. Fishing New Books, pp: 341-360.
- Guzmán del Prío SA. 1994. Biología, ecología y dinámica de población del abulón (*Haliotis* spp.) de Baja California, México. Tesis de Doctorado. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas/Instituto Politécnico Nacional. México. 173p.
- Hoenig JM y NA Hoenig. 1983. *Using mean age, mean length and median length data to estimate the total mortality rate*. International Council for the Exploration of the Sea. ICES. CM. D: 23.
- Leaf RT, L Rogers-Bennett y PL Haaker. 2007. Spatial, temporal, and size-specific variation in mortality estimates of red abalone, *Haliotis rufescens*, from mark-recapture data in California. *Fisheries Research* 83: 341-350.
- León-Carballo G y M Muciño-Díaz. 1996. La pesquería de abulón. *En: M Casas-Valdez y G Ponce-Díaz (eds.). Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur*. SEMARNAP/ Gobierno de BCS/FAO/INP/UABCS/CIBNOR/ CICIMAR/Cet Mar, pp: 15-41.
- Marín V. 1981. Parámetros poblacionales y diagnóstico de la pesquería del abulón amarillo (*Haliotis corrugata*) en Bahía Tortugas BCS. *Ciencia Pesquera* 1(2): 67-79.
- Martínez-Ortega RM, LC Tuya-Pendás, M Martínez-Ortega, A Pérez-Abreu y AM Cánovas. 2009. El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman: caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas* 8(2): 1-19.
- Pauly D, J Ingles y R Neal. 1981. Application to shrimp stocks of objective methods for estimation of growth, mortality and recruitment related parameters from length-frequency data. Workshop on the Scientific Basis for the Management of Penaeid shrimps. NOAA/FAO.
- Pauly D. 1998. Beyond our original horizons: the tropicalization of Beverton and Holt. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 8(3): 307-334.
- Ponce-Díaz G, EA Chávez y M Ramade-Villanueva. 2000. Evaluation of the Green abalone *Haliotis fulgens* in Bahía Asunción, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas* 26: 393-412.
- Prince JD y SA Guzmán del Prío. 1993. A stock reduction analysis of the Mexican abalone (*Haliotis*) fishery. *Fisheries Research* 16: 25-49.
- SAGARPA. 2011. *Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2011*. CONAPESCA. México. 305p.
- Shepherd SA. 1990. Studies on southern Australian abalone (genus: *Haliotis*). XII*. Long-term recruitment and mortality dynamics of an unfished population. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 41: 475-492.
- Shepherd SA, SA Guzmán del Prío, J Turrubiates, J Belmar, JL Baker y PR Sluczanowski. 1991. Growth, size at sexual maturity, and egg-per-recruit analysis of the abalone *Haliotis fulgens* in Baja California. *The Veliger* 34(4): 324-330.
- Shepherd SA y PA Breen. 1992. Mortality in abalone: its estimation variability and causes. *En: SA Shepherd, JM Tegner y SA Guzmán del Prío (eds.). Abalone of the World: Biology, fisheries and culture*. Fishing New Books, pp: 276-304.
- Shepherd SA, JR Turrubiates y K Hall. 1998. Decline of the abalone fishery at La Natividad, Mexico: Overfishing or climate change. *Journal of Shellfish Research* 17(3): 839-846.
- Simpfendorfer CA, R Bonfil y RJ Latour. 2005. Mortality estimation. *En: JA Musick y R Bonfil (eds.). Management techniques for elasmobranch*

fisheries. FAO Fisheries technical paper, pp: 127-142.

Sparre P y SC Venema. 1995. *Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales*. Parte 1-Manual. FAO. Documento Técnico de Pesca 306/1 Rev. 1.

Spearman C. 1904. The proof and measurement of association between two things. *American Journal of Psychology* 15(1): 72-101.

Ssentongo GW y PA Larkin. 1973. Some simple methods of estimating mortality rates of exploited fish populations. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 30: 695-698.

Zar JH. 2010. *Biostatistical analysis*. 5th ed. Pearson Prentice Hall. USA. 944p.

Recibido: 14 de septiembre de 2014.

Aceptado: 26 de marzo de 2015.