

Nota científica

## Esfuerzo de muestreo mínimo para la estimación de la densidad y la biomasa del abulón azul *Haliotis fulgens* de Bahía Magdalena, Baja California Sur

Luis Antonio Salcido-Guevara<sup>\*A</sup>, Rebeca Sánchez-Cárdenas<sup>\*\*</sup> y José Luis Gutiérrez-González<sup>\*</sup>

La información de los muestreos realizados en Isla Margarita obtenida de una base de datos (BADACI) del CRIP-La Paz, sirvió para hacer un nuevo muestreo de los datos de abundancia de cada una de las nueve subzonas, para determinar el esfuerzo mínimo necesario para verificar la densidad y volver a hacer una estimación de la biomasa de abulón azul *H. fulgens*, que es aprovechado por pescadores de la SCPP Bahía Magdalena. El análisis de varianzas sirvió para probar las diferencias significativas de la densidad promedio con diferentes esfuerzos de muestreo, determinando así un esfuerzo mínimo para cada subzona. Los resultados indican que se requiere un esfuerzo mínimo de 68 caídas o inmersiones (17.8% del esfuerzo observado) para verificar la densidad de abulón, así como un esfuerzo mínimo de 315 caídas (82.5%) para estimar la biomasa en el total de las subzonas.

**Palabras clave:** Remuestreo, densidad, biomasa, muestra, verificación.

### Minimum sampling effort to estimate the density and biomass of green abalone *Haliotis fulgens* from Bahia Magdalena, Baja California Sur

Information from surveys in Isla Margarita obtained from database (BADACI) in the research center CRIP-La Paz served to resample abundance data from each of the nine subareas, to determine the minimum effort required to verify the density and re-estimate biomass of green abalone *H. fulgens*, which is used by fishermen of Magdalena Bay. For this purpose, analysis of variance was used to test the significant differences in the average density with different sampling efforts of the resource, thereby determining a minimum sampling effort in each subarea. Results indicate that a minimum effort of 68 dives (17.8% of applied effort) is required to verify the abalone density estimate, and 315 dives (82.5%) to re-estimate the biomass in the total sub-areas.

**Key words:** Resampling, density, biomass, sample, verification.

La Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera (SCPP) Bahía Magdalena es una de las organizaciones pesqueras en Baja California Sur (BCS) que aprovechan el recurso abulón. Esta cooperativa realiza la extracción de haliótidos de acuerdo con las cuotas de captura recomendadas por el INAPESCA, por lo que depende de las evaluaciones de abundancia que el Centro Regional de Investigación Pesquera de La Paz (CRIP-La Paz) realiza anualmente. En ocasiones se considera hacer una nueva evaluación del recurso (revaluación) debido a la inconformidad del pescador con respecto

a las estimaciones de biomasa, así, por ejemplo, hay sitios de pesca donde la escasa transparencia del mar dificulta la visibilidad de los buzos, que propicia un mal conteo del abulón con las consiguientes bajas estimaciones de densidad, así como de la biomasa y de las cuotas de captura.

Una nueva valuación del recurso implica verificar (o validar) la correcta ejecución del muestreo en la evaluación original, lo que conlleva una nueva visita al campo para generar nueva información para la estimación de la biomasa. Esto es difícil porque genera un costo económico extra y representa una inversión de tiempo y esfuerzo que, en la mayoría de los casos, es limitado debido a la gran extensión de litoral en BCS. En ese sentido, el presente trabajo describe los resultados del análisis de remuestreo de los datos de densidad de abulón azul, con base en

\* Centro Regional de Investigación Pesquera - La Paz. Instituto Nacional de Pesca. SAGARPA. Carretera a Pichilingue km 1 s/n, La Paz, BCS, México. CP 23020. <sup>A</sup>[luis.salcido@inapesca.gob.mx](mailto:luis.salcido@inapesca.gob.mx)

\*\* Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. Paseo Claussen s/n, Colonia los Pinos, Mazatlán, Sinaloa, México. CP 82000.

el *Bootstrap* como método estadístico para estimar de forma robusta la varianza del muestreo (Burnham y Anderson 2002). El objetivo del procedimiento propuesto es aplicar un esfuerzo de muestreo menor en una reevaluación considerando información previa (datos de evaluaciones pasadas), ya sea para verificar anteriores estimaciones de la densidad o volver a estimar la biomasa. Los resultados se apoyan en el conocimiento previo de la abundancia y la distribución de *H. fulgens*, para la zona de pesca de Bahía Magdalena, con lo que se pretende tener una adecuada representatividad del muestreo.

Se utilizaron los datos de los muestreos de abulón azul (temporada 2012) de nueve subzonas no referenciadas por razones de seguridad comercial. Para cada subzona se estimó la densidad (abulones  $\cdot 10 \text{ m}^{-2}$ ) en función del esfuerzo de muestreo aplicado (número de caídas),  $\rho(f_i)$ , mediante un algoritmo de remuestreo aleatorio con reemplazo en una hoja de cálculo de MS EXCEL (Fig. 1). La caída es la inmersión que hace un buzo para recolectar todos los abulones que hay en un transecto de  $5 \text{ m} \cdot 2 \text{ m}$  (Sierra-Rodríguez 2004).

Se hizo un nuevo muestreo de la densidad de cada subzona de pesca, considerando una serie de valores  $O_i$  (abulones por caída) en cada una de ellas. El algoritmo realiza un número de iteraciones ( $I$ ) que consiste en la selección aleatoria de  $n$  valores de densidad  $O_i$ ;  $C_i$  es la caída  $i$  correspondiente a  $O_i$ ;  $ft$  es el esfuerzo observado (núm. total de caídas en una subzona);  $RND(I, ft)$  es la función que genera un número aleatorio entero entre 1 y  $ft$ . Si el valor obtenido es menor o igual que el esfuerzo seleccionado por el usuario ( $f_i$ ), se considera un caso exitoso (se almacena  $C_i$  y se repite el proceso). El esfuerzo seleccionado es el límite superior del intervalo en el que opera el algoritmo para elegir un valor de esfuerzo. La segunda condición cuenta el total de éxitos ( $\sum C_i$ ) y, si es igual a  $f_i$ , entonces se obtiene una estimación de densidad (submuestra). Con esto se obtuvieron 1 000 submuestras por cada  $f_i$  y luego se calcularon su varianza ( $\sigma_p^2$ ) y el promedio ( $\mu_p$ ).

Esta información se comparó con la densidad promedio observada ( $\mu_{po}$ ) mediante pruebas no paramétricas de ANDEVA por rangos de Kruskal-Wallis y de muestras pareadas de Wilcoxon (Zar 2010). Se determina un esfuerzo de muestreo mínimo para una verificación de la densidad y la

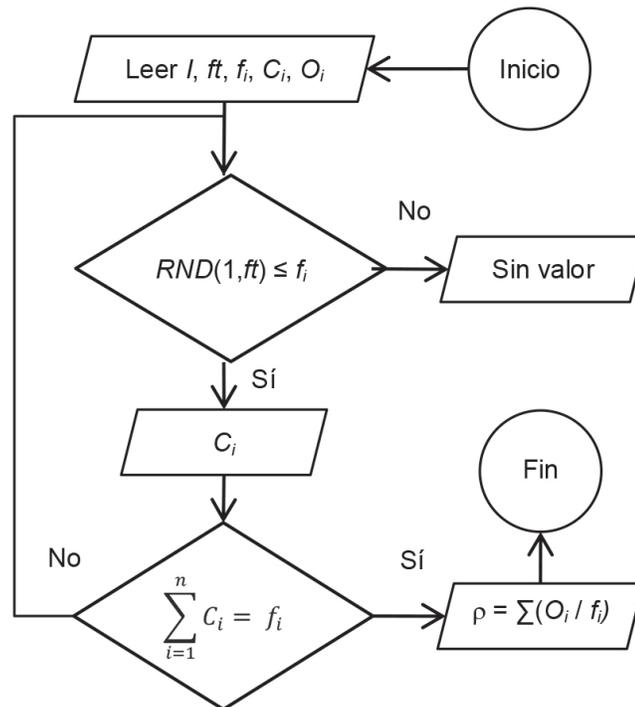


Fig. 1. Algoritmo de remuestreo aleatorio con reemplazo para calcular la densidad de organismos ( $\rho$ ) en función del esfuerzo aplicado ( $f_i$ ).

nueva estimación de biomasa, hasta donde los promedios no tienen diferencias significativas con las densidades observadas. También se estimaron la biomasa promedio ( $\mu_B$ ) y sus intervalos según percentiles de 5% y 95% ( $B_{5\%} \leq B \leq B_{95\%}$ ).

El análisis de varianza permite analizar la variabilidad de la densidad de abulón y cómo ésta podría reflejar la heterogeneidad de la distribución del recurso. Con ello se verifica si la variación en la densidad promedio obtenida en una evaluación incompleta o que se ejecuta actualmente con cierto avance, se ajusta o es similar a la distribución de la especie en cada una de las subzonas. En ese sentido, los promedios de la densidad son comparados para determinar cuál es el esfuerzo de muestreo mínimo requerido (en caso de otra evaluación), para obtener una nueva estimación de biomasa y que no tenga una diferencia significativa con la biomasa observada de una evaluación exitosa (completa y realizada correctamente).

Los resultados del esfuerzo de muestreo mínimo fueron variables para cada subzona y dentro de cada una, el esfuerzo mínimo obtenido mediante remuestreo y el observado no produjeron diferencias significativas en las estimaciones de densidad promedio (Tabla 1; Kruskal-Wallis,  $p > 0.05$ ); para la subzona F, evaluada con un esfuerzo total de 70 caídas (la tercera con más esfuerzo observado), sólo requiere 7.14% del esfuerzo original para verificar sus densidades. Esto sugiere que la

distribución de los abulones en dicha zona es más homogénea y permite que una muestra pequeña tenga buena representatividad de la variabilidad de su abundancia. Sumando el esfuerzo de todas las subzonas de pesca, el esfuerzo de muestreo mínimo para verificar las densidades es de 62 caídas equivalentes a 16% del esfuerzo total realizado en las evaluaciones previas. Con este esfuerzo se puede saber si, en términos de la variabilidad de la densidad, los muestreos fueron adecuados para evaluar la densidad y, por ende, la biomasa de la zona de pesca concesionada.

Como ejemplo, sólo se detallan los valores de densidad promedio obtenidos mediante remuestreo en la subzona E (Fig. 2), que, aunque ahí no tuvieron una distribución normal, fue la más próxima (Fig. 3). Se utiliza  $\sigma_p$  en lugar de la varianza para apreciar las variaciones de densidad al disminuir el esfuerzo de muestreo hasta un mínimo de cero, la densidad observada en la subzona corresponde al valor más alto de  $f_i$  ( $= ft$ ). Si bien en esta subzona no parece haber diferencias con los promedios de la densidad en diferentes grados de esfuerzo, el análisis de varianza de la densidad observada (en la evaluación previa) y la densidad obtenida con el remuestreo, indican que no tienen diferencias significativas con un esfuerzo de muestreo de diez caídas (Tabla 1; Kruskal-Wallis,  $p > 0.05$ ). De manera general, hay mayor tendencia a la sobrestimación de la densidad conforme se reduce el esfuerzo de muestreo (Fig. 3).

**Tabla 1**  
Esfuerzo de muestreo mínimo requerido ( $f_{min}$ ) para verificar la densidad de *Haliotis fulgens* en la evaluación de Bahía Magdalena durante 2012

Subzona	Datos observados		Remuestreo de datos		
	$ft$ (total caídas)	$\sigma_{po}^2$	$I$ (iteraciones)	$f_{min}$ caídas (%)	$\sigma_p^2$
A	20	3.713	1 000	2 (10.0)	*1.686
B	39	4.239	1 000	10 (25.6)	*0.302
C	25	3.007	1 000	4 (16.0)	*0.635
D	69	2.392	1 000	15 (21.7)	*0.129
E	90	1.534	1 000	10 (11.1)	*0.146
F	70	2.485	1 000	5 (7.1)	*0.436
G	10	67.733	1 000	4 (40.0)	*10.280
H	29	0.756	1 000	6 (20.7)	*0.095
I	30	0.809	1 000	6 (20.0)	*0.106

\*Kruskal-Wallis,  $p > 0.05$ . Porcentaje respecto al esfuerzo observado.

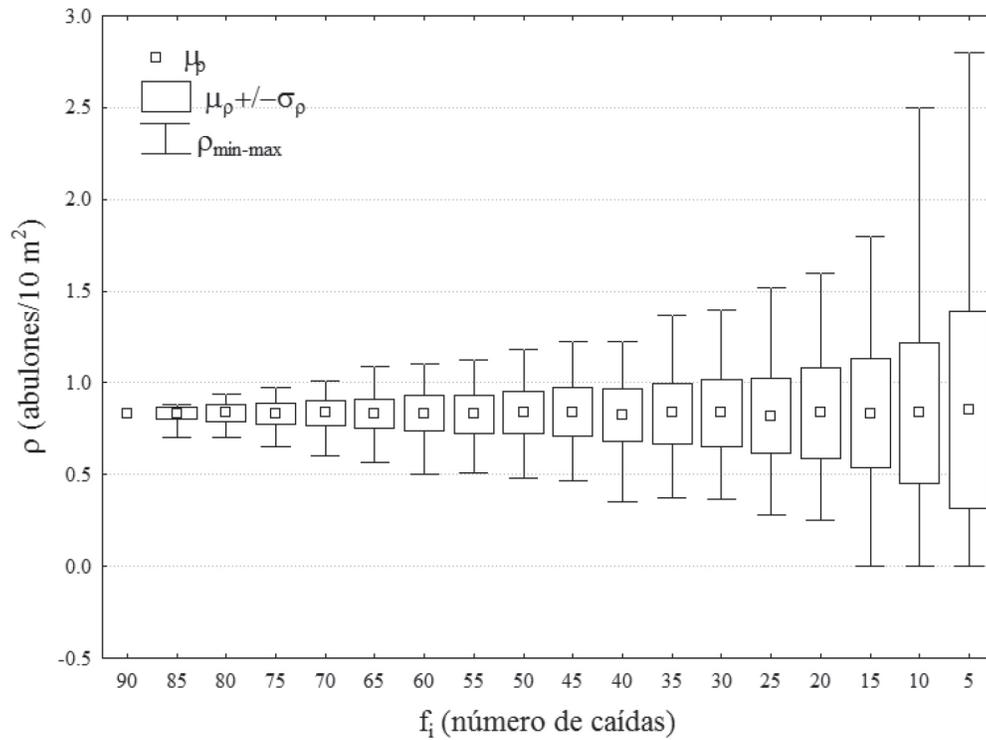


Fig. 2. Remuestreo de la densidad de *Haliotis fulgens* ( $\rho$ ) con diferentes niveles de esfuerzo ( $f$ ) en la subzona E. El esfuerzo de muestro mínimo requerido es de 10 caídas.

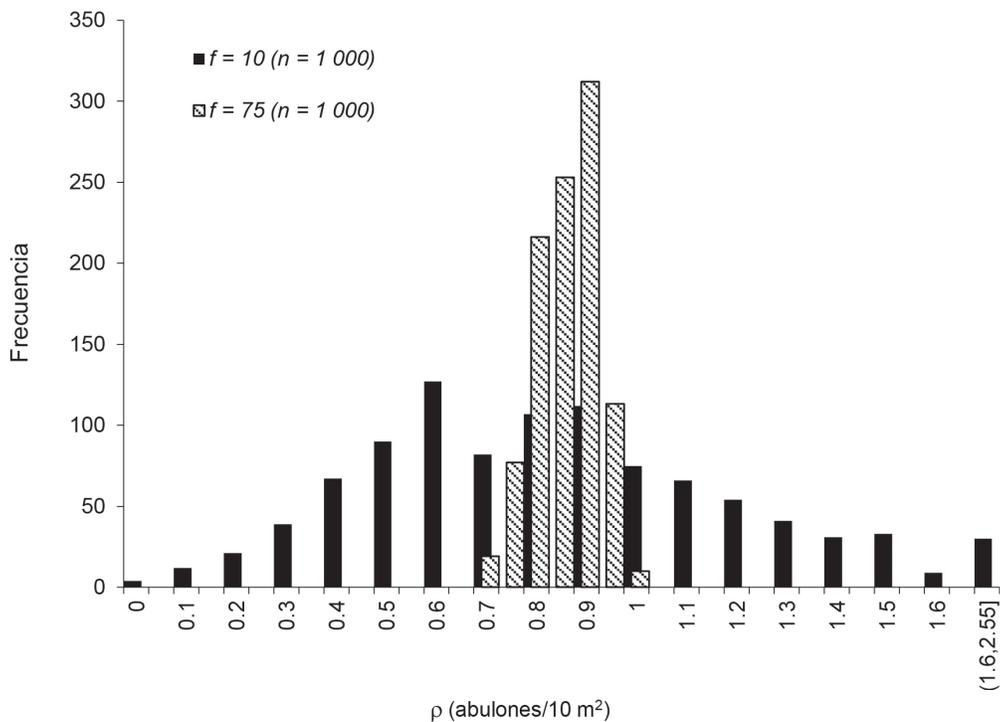


Fig. 3. Remuestreo de los valores de densidad ( $\rho$ ) de *Haliotis fulgens* con un esfuerzo de muestro mínimo para verificar la densidad ( $f = 10$ ) y para reestimar la biomasa ( $f = 75$ ) en la subzona E.

El esfuerzo de muestreo mínimo para verificar la densidad (evaluación previa) en todas las subzonas fue menor que el requerido para reestimar las biomásas (Tabla 2), lo que, en otro sentido, demuestra la importancia del tamaño que debe tener la muestra para la estimación de la biomasa, más que para observar el comportamiento en la variabilidad de la densidad. Esto, por ejemplo, se refleja en la subzona E, donde el esfuerzo para verificar la estimación de densidad (en la evaluación previa) fue de diez caídas (Tabla 1), mientras que para hacer una nueva estimación de la biomasa fue de 75 caídas (Tabla 2). El esfuerzo de muestreo mínimo requerido para estimar la biomasa de todas las subzonas fue de 315 caídas, que representan 82.5% del total aplicado en la temporada 2012 (Tabla 2).

Para estimar la biomasa a partir de una densidad media obtenida con el remuestreo de los datos, se recomienda apoyarse en los percentiles (5% y 95%) para conocer su variación, procurando con ello reducir la incertidumbre sobre el resultado de una posible sub- o sobreestimación. El remuestreo de las densidades en la mayoría de los casos no produjo distribuciones normales, por lo que la estadística no paramétrica y su descripción ordinal son de apoyo para determinar el esfuerzo de muestreo mínimo para una reevaluación del recurso pesquero.

Una limitación en el presente estudio es que, aun reconociendo la variabilidad interanual del tamaño de las poblaciones, se asume que

se puede aplicar un esfuerzo de muestreo mínimo obtenido del remuestreo de datos de una evaluación pasada y, cuando mucho, de un año anterior, para obtener nuevos datos y estimar la biomasa con una nueva evaluación. Sin embargo, es importante considerar que dentro de un mismo año, dicha variabilidad podría ser menor si se considera un tiempo corto entre una y otra evaluación, lo que podría permitir emplear menor esfuerzo de muestreo para obtener una estimación de biomasa adecuada.

La aplicación de un esfuerzo de muestreo menor podría reducir los costos y el tiempo requeridos durante una segunda evaluación del recurso, así como ser un punto de referencia que permita reducir la incertidumbre en la representatividad del muestreo en el campo. Es decir, por ejemplo, cuando las condiciones del ambiente impidieran concluir el muestreo de campo, se podría valorar con los datos logrados en el momento, la necesidad de continuar la evaluación (regresar al campo a muestrear) o de asumir la suficiencia de dichos datos para satisfacer una buena estimación de biomasa, teniendo como referencia el esfuerzo de muestreo mínimo requerido, así como de la distribución de los puntos de muestreo. En ese sentido, el criterio del investigador podría estar reforzado y sustentado, gracias a “un trozo de la fotografía” del tamaño de la población que, al ser significativa, podría explicar parte de la incertidumbre del muestreo

Tabla 2  
Esfuerzo mínimo requerido ( $f_{min}$ ) para estimar la biomasa de *Haliotis fulgens* en Bahía Magdalena durante 2012

Subzona	Observado			Remuestreo			
	$f_t$ (total caídas)	$\mu_p$ (abulones/ caída)	$B$ (t)	$f_{min}$ caídas (%)	$\mu_p$ (abulones/ caída)	$\mu_B$ (t)	Percentiles $B_{5\%}$ - $B_{95\%}$ (t)
A	20	1.650	3.81	17 (85.0)	*1.651	3.82	3.123-4.481
B	39	1.846	8.98	32 (82.1)	*1.846	8.97	7.599-10.031
C	25	1.440	2.01	22 (88.0)	*1.454	2.01	1.652-2.287
D	69	0.928	11.15	60 (87.0)	*0.926	11.16	9.616-12.421
E	90	0.833	7.50	75 (83.3)	*0.838	7.49	6.600-8.280
F	70	1.514	9.09	50 (71.4)	*1.511	9.11	7.922-10.323
G	10	5.800	3.20	7 (70.0)	*5.748	3.15	1.574-4.408
H	29	0.448	0.66	25 (86.2)	*0.455	0.65	0.468-0.761
I	30	0.467	1.49	27 (90.0)	*0.453	1.49	1.185-1.659

\*Wilcoxon,  $p > 0.05$ . Porcentaje respecto al esfuerzo observado.

y finalmente considerar realizar o no una reevaluación.

### **Agradecimientos**

A los pescadores de Bahía Magdalena por el apoyo durante las evaluaciones. Al CONACYT por el apoyo con el proyecto SAGARPA-CONACYT-2011 (163322).

*Recibido: 20 de agosto de 2013.*

*Aceptado: 4 de enero de 2014.*

### **Literatura citada**

BURNHAM KP y DR Anderson. 2002. *Model selection and multimodel inference. A practical information-theoretic approach*. Springer. USA. 488p.

SIERRA-RODRÍGUEZ P. 2004. Incertidumbre y riesgo en puntos de referencia para el manejo de la pesquería de abulón en la península de Baja California. Tesis de Maestría. CICIMAR, IPN. México. 139p.

ZAR JH. 2010. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall. USA. 944p.