

Fecundidad en gónadas maduras de *Haliotis fulgens* y *Haliotis corrugata* (Vetigastropoda)

Fecundity in ripe gonad of *Haliotis fulgens* and *Haliotis corrugata* (Vetigastropoda)

Nurenskaya Vélez-Arellano¹, Rosa Salgado García³, Federico Andrés García-Domínguez^{1,2*}, Daniel Bernardo Lluch-Cota³, María Teresa Sicard³ y José Luis Gutiérrez-González⁴

Recibido: 17 de marzo de 2017.

Aceptado: 10 de octubre de 2018.

Publicado: 14 de diciembre de 2018.

RESUMEN

Antecedentes: De acuerdo con su estimación, el término fecundidad en *Haliotis* spp. se clasifica como fecundidad absoluta (número de ovocitos maduros presentes en la gónada) y como fecundidad potencial (número total de ovocitos presentes en la gónada). En México, son pocos los trabajos que estiman la fecundidad en *Haliotis*, y los que se han realizado, han utilizado gónadas en diferentes fases de desarrollo, por lo que se han obtenido valores muy diferentes o sobreestimados, por ejemplo, valores que van desde 80,000 a 22 millones de ovocitos en una gónada. **Objetivos:** Estimar la fecundidad de *Haliotis fulgens* (abalón azul) y *Haliotis corrugata* (abalón amarillo) mediante gónadas maduras y un contador de partículas (Multisizer 3) para el conteo selectivo de ovocitos maduros. **Métodos:** Entre octubre de 2011 y febrero de 2013, se recolectaron mensualmente 30 organismos adultos de cada especie en dos localidades de la costa occidental de Baja California Sur, México (La Bocana y Bahía Tortugas). Se identificaron las hembras en fase de madurez por medio de un análisis histológico, y para obtener el número de ovocitos por gramo de peso húmedo, se realizaron por triplicado conteos de ovocitos en un contador de partículas, a una solución de 4 g de ovocitos (peso húmedo) diluidos en 50 mL de agua de mar marina filtrada a 1 µm. La fecundidad absoluta se calculó multiplicando el peso húmedo total de la gónada por el número de ovocitos maduros promedio presentes en un gramo de ovocitos. **Resultados:** En La Bocana se encontró que la fecundidad absoluta fue de 2×10^6 ovocitos en *H. corrugata* y en *H. fulgens*, mientras que en Bahía Tortugas fue de 4×10^6 ovocitos en *H. fulgens*. **Conclusiones:** Se sugiere que la estimación de la fecundidad absoluta en especies con desoves parciales, como *H. fulgens* y *H. corrugata*, se debe realizar en todas las hembras, sin importar el grado de desarrollo gonádico; sin embargo, es recomendable considerar sólo los ovocitos maduros como un estimador de la fecundidad absoluta. Por lo tanto, la utilización de un aparato que cuente y mida los ovocitos maduros, como es un contador de partículas, facilita y garantiza una buena aproximación en la estimación de la fecundidad.

Palabras clave: gastrópodos, abalón azul, abalón amarillo, ovocito, reproducción

¹ Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Av. Instituto Politécnico Nacional s/n, col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, Baja California Sur, 23096. México

² Becario de la Comisión de Fomento y Actividades Académicas del IPN.

³ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Av. Instituto Politécnico Nacional 195, col. Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096. México

⁴ Centro Regional de Investigación Pesquera. Carretera a Pichilingue Km 1 s/n, col. El Esterito, 23020, La Paz, Baja California Sur, 23020. México

*Author for correspondence:
fdoming@ipn.mx

To cite as:

Vélez-Arellano N., R. Salgado García, F. A. García-Domínguez, D. B. Lluch-Cota, M. T. Sicard y J. L. Gutiérrez-González. 2018. Fecundidad en gónadas maduras de *Haliotis fulgens* y *Haliotis corrugata* (Vetigastropoda). *Hidrobiológica* 28 (3): 295-300.

DOI:

ABSTRACT

Background: The term fecundity in abalone is defined according to an estimate of its absolute fecundity, which is the number of mature oocytes present in the gonad, or as potential fecundity, i.e., the total number of oocytes present in the gonad. In Mexico, few studies have estimated the fecundity of mollusks and these have been performed on gonads in different phases of gonadal development, obtaining values that are very different or overestimated, for example, values ranging from 80000 to 22 million oocytes in a gonad. **Goals:** Estimate the fecundity of *Haliotis fulgens* (blue abalone) and *Haliotis corrugata* (yellow abalone), using mature gonads and a particle counter (Multisizer 3) to count only mature oocytes. **Methods:** Each month from October 2011 to February 2013, 30 adult organisms of each species were collected in two localities of Baja California Sur, Mexico (La Bocana and Bahía Tortugas). A histological analysis identified those that were mature females. To obtain the number of eggs per gram, triplicate oocyte counts were performed in a coulter counter Multisizer 3, in a solution of 4 g wet weight of mature oocytes diluted to 50 mL of filtered seawater (µm). Absolute fecundity was calculated by multiplying the total weight of the gonad by the number of mature

oocytes present in one gram of oocytes. **Results:** The fecundity in La Bocana was found to be 2×10^6 eggs in *H. corrugata* and *H. fulgens*, while in Bahía Tortugas it was 4×10^6 eggs in *H. fulgens*. **Conclusions:** This study suggests that estimating absolute fecundity in species with partial spawning, such as *H. fulgens* and *H. corrugata*, should be performed on all females regardless of the degree of gonadal development. However, only mature oocytes should be considered as an indicator of absolute fecundity. Therefore, the use of an apparatus that counts and measures mature oocytes, such as a particle counter, facilitates and guarantees a good estimate of fecundity.

Keywords: Gastropods, *Haliotis fulgens*, *Haliotis corrugata*, oocyte, reproduction

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la pesca de *Haliotis* spp. ha declinado en todo el mundo, mientras que el cultivo de estos gastrópodos ha aumentado de manera significativa (Gordon & Cook, 2013). Actualmente, se han implementado programas de cultivo de varias especies, para lo cual es esencial el control efectivo de la reproducción (Morse, 1984), que incluye, entre otras cosas, el mejoramiento en la calidad de los gametos y la estimación de la fecundidad. En *Haliotis* spp. esta estimación ha sido definida como fecundidad absoluta, equivalente al número total de ovocitos maduros presentes en la gónada (Litaay & De Silva, 2003; Bilbao *et al.*, 2010), y como fecundidad potencial, equivalente al número total de ovocitos presentes en la gónada (Guzmán del Prío *et al.*, 2001). Ambos son parámetros necesarios para evaluar la tasa de fertilización, la proporción óptima de ovocitos y espermatozoides, la tasa de reclutamiento y la tasa de eclosión, así como el efecto de la dieta y de las variables ambientales en la calidad de los desoves y en la capacidad reproductiva de los organismos (Witthames *et al.*, 2009).

En México, el abulón azul, *Haliotis fulgens* Philippi, 1845, y el abulón amarillo, *Haliotis corrugata* W. Wood, 1828, son las especies más importantes para la pesquería (Guzmán-del Prío, 1992; Arreguín-Sánchez *et al.*, 2006). Como en todo el mundo, su pesca ha colapsado sustancialmente a partir del siglo pasado (Guzmán-del Prío, 1992). La información relacionada con su fecundidad es importante debido a que su conocimiento puede contribuir al mejor desarrollo del cultivo de estas especies; sin embargo, sólo se ha realizado un estudio en el abulón amarillo, *H. corrugata* (Ortiz-Quintanilla *et al.*, 1987), en el cual se encontraron diferencias en la fecundidad, correlacionadas a la diferencia de años, atribuida por los autores al grado de madurez de los organismos. En cuanto a *H. fulgens*, Guzmán del Prío *et al.* (2001) reportaron la fecundidad en Bahía Tortugas y Ortiz-Quintanilla *et al.* (1987) en isla Cedros. Cabe señalar que en estos trabajos se utilizaron organismos en todas las fases de madurez gonádica, las cuales se determinaron mediante un estudio del índice gonádico, lo cual indica que sus resultados únicamente estiman la fecundidad potencial.

Los métodos convencionales para estimar la fecundidad de especies marinas incluyen análisis histológicos, gravimétricos y volumétricos con una gran variabilidad de resultados para la misma especie, que además de subestimar o sobrestimar los resultados, no permiten comparar entre autores. Los contadores de partículas y células en dilución son equipos semiautomáticos que permiten estimar el número y el tamaño de partículas y células en suspensión de manera confiable y rápida, por lo que en las últimas décadas han sido ampliamente utiliza-

dos para el monitoreo del crecimiento de cultivos celulares (bacterias, microalgas, etc.), así como para el conteo de células sanguíneas. Estos equipos ya se ha utilizado en el conteo de huevos expulsados en condiciones de laboratorio para estudios de fecundidad, especialmente en una especie de bivalvo (*Dreissena polymorpha* Pallas, 1771), lo cual comprueba que la fecundidad estimada por ese método está en el rango de la fecundidad estimada por otros (Sprung, 1991).

Este trabajo es el primero que utiliza un contador de células y partículas para determinar el número y el tamaño de ovocitos en *Haliotis*, lo cual elimina los errores causados por un observador. Además, en el caso de especies que presentan desarrollo gonádico continuo y desoves parciales, permite contar y medir las células, y así estimar tanto la fecundidad absoluta, como la fecundidad potencial. Por consiguiente, el objetivo del presente estudio fue conocer la fecundidad absoluta y potencial de *H. fulgens* y *H. corrugata* en hembras con gónadas en fase de madurez identificadas mediante un análisis histológico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron muestreos mensuales, de octubre de 2011 a febrero de 2013, en dos localidades de la costa noroeste del Pacífico mexicano, La Bocana, Baja California Sur (BCS) (26.8° N, 113.73° O) y Bahía Tortugas BCS (27.67° N, 114.95° O). En cada sitio de muestreo se recolectaron 30 organismos adultos de cada especie, de los que se registró la longitud, la masa total y se extrajo el complejo hepatogonadal, el cual se fijó durante 48 h en formol al 10 % preparado con agua de mar. Posteriormente, se disectó el complejo gónada-hepatopáncreas y se obtuvo el peso húmedo de la gónada con una balanza analítica. Se tomó una muestra de 1 cm de grosor de la porción central de la gónada y fue procesada con técnicas histológicas convencionales, que incluyen la deshidratación con etanol, la aclaración del tejido con CitriSolv y la inclusión en parafina. Los cortes histológicos, de 5 µm de grosor, se tiñeron con hematoxilina-eosina (Humason, 1979) y se montaron con resina sintética para su observación en el microscopio. Se utilizó el criterio de Vélez-Arellano *et al.* (2015) para determinar las fases de desarrollo gonádico de ambas especies, el cual describe sus características histológicas. El tejido gonádico de las hembras maduras se lavó en agua marina filtrada (1 µm), y con pipetas de vidrio se recolectaron muestras de los ovocitos desprendidos de las trabéculas para colocarlos en tubos eppendorf de 1.5 mL por triplicado. El exceso de agua de las muestras de ovocitos se eliminó por decantación y por absorción con papel absorbente. El peso húmedo de las muestras (0.08 g) se determinó en una balanza analítica. La tasa de dilución óptima de las muestras se estableció con un modelo de regresión lineal ($R^2 = 0.9376$), a partir de diluciones seriales (por triplicado) preparadas con base en una solución de ovocitos de concentración conocida (0.08 g/mL), utilizando como diluyente agua marina filtrada (1 µm).

Para cada organismo se prepararon (por triplicado) muestras de ovocitos (200 µl) a una tasa de dilución óptima (0.005 g/mL) con la finalidad de realizar el conteo de ovocitos en el contador de partículas (Multisizer 3) con apertura de 560 µm. El conteo de los ovocitos se realizó en agitación constante para evitar su sedimentación, tal como en la preparación de las muestras en agua marina filtrada.

El flujo de la muestra en el contador de partículas se estableció midiendo el volumen de diluyente desplazado a través de la apertura (560 µm) por unidad de tiempo (min). El flujo resultante fue considerado

para estimar la fecundidad absoluta (concentración de ovocitos, σ_T), de acuerdo con las instrucciones del fabricante del equipo, mediante la siguiente fórmula:

$$\sigma_T (\text{cel}^{-1} \text{mL}^{-1}) = \frac{\sigma(V_T)}{f}$$

En donde σ representa el número de ovocitos en la muestra, V_T es igual al volumen total de la muestra (mL) y f , el flujo (mL/min). El número de ovocitos por unidad de peso húmedo (N) se calculó con base en la concentración de ovocitos calculada (σ_T) y el peso húmedo de la submuestra de ovocitos (0.005 g).

$$N (\text{cel}^{-1} \text{g}^{-1}) = \frac{\sigma_T (\text{lg})}{g}$$

En donde g representa el peso húmedo de ovocitos de la muestra (en gramos).

La fecundidad (F) se definió como el número total de ovocitos de cada organismo y se estimó con base en el peso húmedo total de la gónada (G) y en el número de ovocitos por unidad de peso (N), como se muestra en la siguiente fórmula:

$$F = (N) G$$

Para estimar la fecundidad absoluta se consideró el número total de ovocitos maduros de cada muestra (diámetro entre 150 y 250 μm : Belmar-Pérez y Guzmán del Proó, 1991), y para estimar la fecundidad potencial se consideró el número total de ovocitos de cada muestra (diámetro entre 60 y 250 μm).

Análisis estadístico. El tratamiento de los datos se realizó entre especies, zonas y meses, y sus diferencias se evaluaron con un análisis de comparación de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0.05$) (Zar, 2010), por medio del programa Statistica 8.0 (StatSoft Inc., Estados Unidos). Para analizar la posible relación entre la fecundidad absoluta y la fecundidad potencial con el peso del organismo y la longitud, se buscó la curva de mejor ajuste con el paquete estadístico Curve expert versión 1.3 (2008).

RESULTADOS

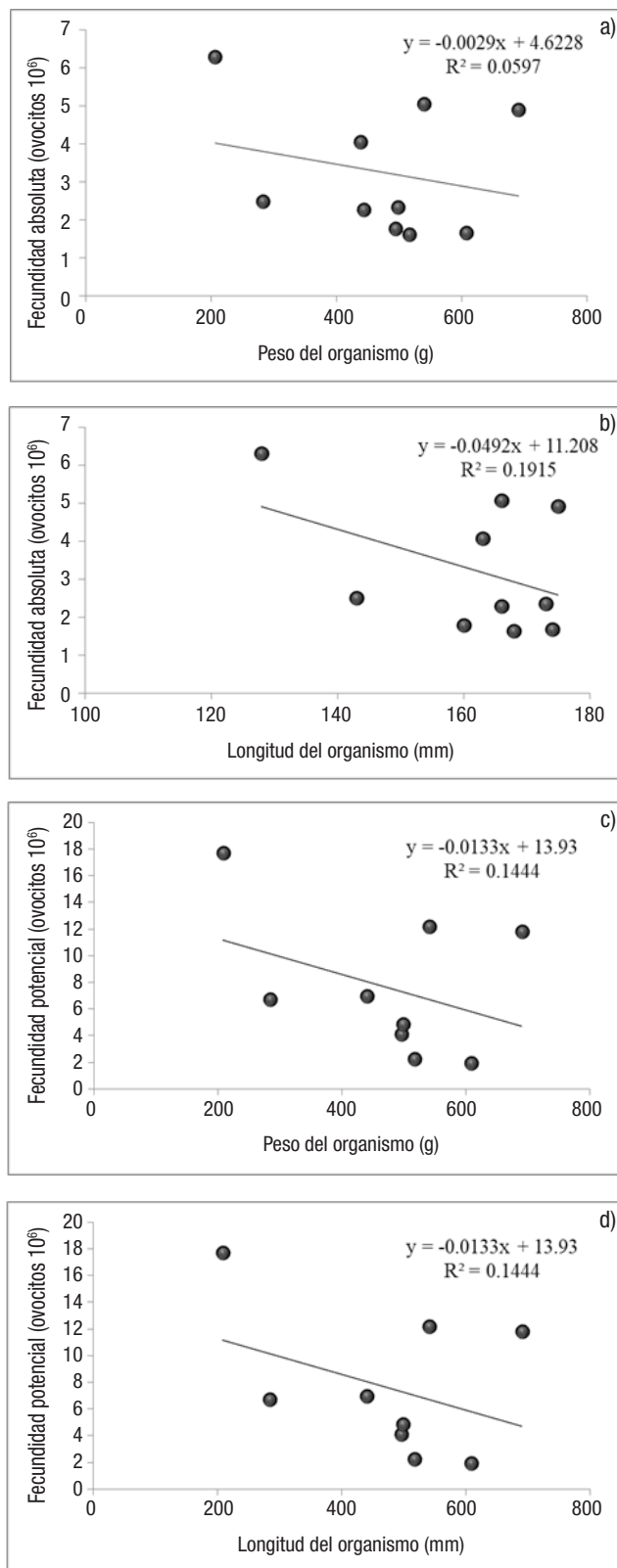
Del total de la muestra de La Bocana, sólo se encontraron cuatro hembras maduras de abulón azul y dos de abulón amarillo en agosto de 2012 y dos hembras maduras de abulón azul en enero de 2013. En Bahía Tortugas se identificaron cuatro hembras maduras de abulón azul en enero de 2013.

La fecundidad absoluta y potencial de *H. fulgens* y *H. corrugata* en La Bocana en agosto de 2012 se muestra en la Tabla 1, en la que destaca una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la fecundidad potencial y la fecundidad absoluta, y donde también se observa que en promedio

Tabla 1. Fecundidad potencial y fecundidad absoluta (10^6) por organismo de *Haliotis fulgens* Philippi, 1845, en Bahía Tortugas y La Bocana. BCS, México, entre agosto de 2012 y enero de 2013, y fecundidad potencial absoluta de *Haliotis corrugata* W. Wood, 1828, en La Bocana, BCS, México, en agosto de 2012.

Localidad	Fecha	FP $\pm$ Des	FA $\pm$ Des	PG (g)	Long (mm)	PO (g)
La Bocana	08/2012	11.81 $\pm$ 1.33	4.90 $\pm$ 0.12	37.8	175	690.5
<i>H. fulgens</i>						
<i>H. fulgens</i>	08/2012	4.11 $\pm$ 0.27	1.78 $\pm$ 0.17	14.2	160	495.0
<i>H. fulgens</i>	08/2012	2.24 $\pm$ 0.22	1.63 $\pm$ 0.04	11.9	168	516.9
<i>H. fulgens</i>	08/2012	1.95 $\pm$ 0.99	1.67 $\pm$ 0.13	11.9	174	608.0
<i>H. fulgens</i>	01/2013		2.28 $\pm$ 0.22	16.9	166	443.7
<i>H. fulgens</i>	01/2013	4.82 $\pm$ 2.03	2.34 $\pm$ 0.62	12.7	173	498.4
Bahía Tortugas						
<i>H. fulgens</i>	01/2013	17.68 $\pm$ 0.56	6.30 $\pm$ 0.47	37.1	128	207.2
<i>H. fulgens</i>	01/2013	12.14 $\pm$ 1.2	5.06 $\pm$ 0.33	38.4	166	540.4
<i>H. fulgens</i>	01/2013	6.67 $\pm$ 1.31	2.5 $\pm$ 0.11	14.7	143	283.7
<i>H. fulgens</i>	01/2013	6.96 $\pm$ 1.72	4.07 $\pm$ 0.27	25.5	163	439.7
La Bocana						
<i>H. corrugata</i>	08/2012	4.93 $\pm$ 1.2	1.99 $\pm$ 0.3	18.5	106	140.8
<i>H. corrugata</i>	08/2012	4.82 $\pm$ 0.32	2.19 $\pm$ 0.1	16.3	99	94

Fecundidad potencial (FP), fecundidad absoluta (FA), Desviación estándar ($\pm$ Desv), masa de la gónada (PG), longitud total del organismo (Long), masa del tejido húmedo de cada organismo (PO).



Figuras 1a-d. Relación de la fecundidad absoluta (a-b) y fecundidad potencial (c-d) con el peso (a-c) y la longitud (b-d) de *Haliotis fulgens* Philippi, 1845, en La Bocana y Bahía Tortugas, BCS, México.

la fecundidad no varía entre especies; en *H. fulgens* fue de 5.02×10^6 huevos en la gónada, mientras que en *H. corrugata* fue de 4.87×10^6 huevos en la gónada. La fecundidad absoluta y potencial de *H. fulgens* en Bahía Tortugas y La Bocana en enero de 2013 se muestra en la Tabla 1, donde se observa una diferencia de la fecundidad absoluta entre zonas de estudio; en Bahía Tortugas fue de 10.86×10^6 , mientras que en La Bocana fue de 4.82×10^6 . En el presente trabajo no se encontró una relación estadísticamente significativa entre la fecundidad (absoluta y potencial), y la longitud o el peso del organismo. Sin embargo, se observa una tendencia negativa entre el peso, la talla de los organismos y la fecundidad (Figs. 1a-d).

DISCUSIÓN

Durante los meses de muestreo no fue posible capturar un número mayor de hembras en estado de madurez, debido a que estas especies presentan desoves parciales continuos y pocos organismos alcanzan el estadio de madurez, tal como lo informaron Vélez-Arellano *et al.* (2016), quienes además encontraron que *H. fulgens* presenta los estadios de desarrollo y desove durante todo el año. Esto se presenta en otras especies como *Haliotis tuberculata coccinea* Reeve, 1846, en la que la gónada presenta distintos grados de madurez de los ovocitos (Bilbao *et al.*, 2010). El cálculo de fecundidad absoluta se ha realizado en otros trabajos, como el de Bilbao *et al.* (2010), quienes contaron únicamente ovocitos maduros para estimarla. En el presente trabajo, la fecundidad absoluta en *H. fulgens* varió entre las zonas de estudio: en Bahía Tortugas fue de 2.49×10^6 ovocitos y en La Bocana, de 2.31×10^6 ovocitos, posiblemente debido a las diferencias en las condiciones ambientales y a la presión pesquera, pues se sabe que la gran variabilidad en la frecuencia de los desoves entre poblaciones de la misma especie, o la de un mismo organismo a lo largo de uno o varios ciclos anuales, puede atribuirse a factores biológicos, ambientales y antropogénicos (Ault, 1985; Giorgi & De Martini, 1977; Molina, 1983; Ortiz-Quintanilla *et al.*, 1987). En este sentido, se ha reportado que la fecundidad para esta misma especie en isla Cedros, durante distintos meses y años, varió de 5.16×10^6 ovocitos, en junio de 1982, a 7.24×10^6 ovocitos, en septiembre de 1984, y a 3.34×10^6 ovocitos, en junio de 1985 (Ortiz-Quintanilla *et al.*, 1987). No obstante, en el presente trabajo la fecundidad absoluta permaneció invariable entre meses, pues tanto en agosto como en enero la fecundidad absoluta fue de 2×10^6 ovocitos. Para *H. corrugata*, Ortiz-Quintanilla *et al.* (1987) reportaron variaciones en la fecundidad, de 10.4×10^6 en junio de 1982 a 1.34×10^6 en junio de 1985, diferencia que atribuyen al grado de madurez de los organismos, y que también difieren de los valores de la fecundidad reportada en el presente trabajo, puesto que sólo se consideraron hembras maduras para las dos zonas de pesca estudiadas. Una explicación verosímil para entender estas variaciones en la fecundidad podría ser el cambio ambiental, como el causado por El Niño en 1997 en Bahía Tortugas, en donde, tras realizarse un estudio en *H. fulgens*, se reportó una fecundidad de 0.99×10^6 a 22.34×10^6 ovocitos (Guzmán del Prío *et al.*, 2001). Al respecto, Kasyanov (2001) menciona que el nivel de máxima fecundidad de una especie se presenta en las condiciones de hábitat más favorables, es decir, cuando los organismos gastan la energía máxima disponible para la reproducción, mientras que Ault (1985) demostró que la fecundidad de organismos silvestres recién capturados de *Haliotis rufescens* Swainson, 1822, fue tres veces menor que en organismos de talla similar mantenidos en el laboratorio en condiciones

óptimas entre 70 y 90 días. Asimismo, en enero de 1973 Poore (1973) reportó que *Haliotis australis* Gmelin, 1791, presentó una fecundidad entre 0.046×10^6 y 2.91×10^6 ovocitos, en ejemplares cuya longitud varió de 62 a 91 mm; menor a la observada en julio de 1968, cuando fue de 0.19 a 1.38×10^6 ovocitos, a longitudes de 67 a 87 mm. El autor lo atribuye a la etapa del ciclo reproductivo en la que se encontraban los organismos. Cabe señalar que para estimar la fecundidad, tanto Poore (1973), como Ortiz-Quintanilla (1987) contaron todos los ovocitos presentes en la muestra, es decir, desde ovocitos previtelogénicos hasta ovocitos maduros, donde los organismos utilizados se hallaban en diferentes grados de madurez gonádica. En el presente trabajo no se observaron diferencias en la fecundidad absoluta de *H. fulgens* de la misma zona, en distintas temporadas de muestreo, debido a que los organismos analizados se encontraban en la misma etapa reproductiva (madurez) y únicamente se contaron los ovocitos maduros. Sin embargo, sí se observó una diferencia en la fecundidad potencial de *H. fulgens* entre zonas y en la misma zona, que varió de 17 a 6 millones en Bahía Tortugas y de 11 a 1.9 millones en La Bocana, posiblemente porque se contaron todos los ovocitos presentes en la gónada.

De acuerdo con un análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno, se determinó que los abulones de Bahía Tortugas y de La Bocana presentan diferentes dietas (Vega-García *et al.*, 2016), además existe una clara diferenciación entre la especie de macroalga dominante en cada zona, cuya preponderancia en Bahía Tortugas era de *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus) C. Agardh y de *Eisenia arborea* J. E. Areschoug, en La Bocana (Vega-García, 2016), por lo que la diferencia en la fecundidad absoluta entre zonas de estudio puede deberse a las condiciones de hábitat y alimentación; sin embargo, la carencia de estudios ecológicos en estas zonas no permite saber cuál de ellas tiene las mejores condiciones para la reproducción.

Estudios previos han encontrado una relación significativa entre la fecundidad y el peso o tamaño del organismo (Poore, 1973; Molina, 1983; Guzmán-del Prío, 2001; Bilbao *et al.*, 2010). En cambio, en el presente trabajo no se encontró relación significativa entre la fecundidad absoluta o potencial y el peso o tamaño del organismo, pero sí se observa una tendencia que demuestra que a menor peso y talla, mayor número de huevos en la gónada, donde, posiblemente, la significancia estadística se deba al tamaño de muestra y a la dispersión de los datos.

Los resultados obtenidos indican que para conocer la fecundidad absoluta de *H. fulgens* y de *H. corrugata* se deben analizar las gónadas de todas las hembras sin importar el grado de desarrollo gonádico, pero únicamente se deben considerar los ovocitos maduros, para así tener un tamaño de muestra que permita obtener una relación con el tamaño o masa del organismo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen por el apoyo recibido de los proyectos SAGARPA-CONACYT-01-163322, coordinado por el CRIP-La Paz, SIP20121218 del CICIMAR-IPN y al POA-Bentónicos 2012, 2013 y 2014 del CRIP-La Paz. A las sociedades cooperativas de producción pesquera Bahía Tortugas, Emancipación, California de San Ignacio y Progreso por la recolecta de muestras. A los investigadores del CRIP-La Paz (Carlos Monroy, Eduardo Quiroz, Mauro Guadarrama y Verónica Fernández) por el procesamiento del material biológico, y a Cheryl Butner por la traducción.

REFERENCIAS

- ARREGUÍN-SÁNCHEZ, F., L. BELÉNDEZ-MORENO, I. M. GÓMEZ-HUMARÁN, R. SOLANA-SANSORES & C. RANGEL-DÁVALOS. 2006. *Sustentabilidad y pesca responsable en México: evaluación y manejo*. Sagarpa. México. 560 p.
- AULT, J. S. 1985. Some quantitative aspects of reproduction and growth of the red abalone, *Haliotis rufescens* Swainson. *Journal of the World Mariculture Society* 16: 398-425. DOI: [10.1111/j.1749-7345.1985.tb00221.x](https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1985.tb00221.x)
- BELMAR-PÉREZ, J. & S. A. GUZMÁN-DEL PRÍO. 1991. Madurez sexual y ciclo gonádico de *Haliotis fulgens* y *Astraea undosa* en Bahía Tortugas B.C.S. (1986-1988). In: Guzmán del Prío, S. (ed). *Memorias del Taller México-Australia sobre reclutamiento de recursos bentónicos de Baja California*. Sepesca-IPN, La Paz, México, pp. 121-129.
- BILBAO, A., V. TUSET, M. VIERA, G. COURTOIS DE VICOSE, H. FERNÁNDEZ-PALACIOS, R. HAROUN & M. IZQUIERDO. 2010. Reproduction, fecundity and growth of abalone (*Haliotis tuberculata coccinea*, Reeve 1846) in the Canary Islands. *Journal of Shellfish Research* 29 (4): 959-967. DOI: [10.2983/035.029.0430](https://doi.org/10.2983/035.029.0430)
- GIORGI, A. E. & J. D. DE MARTINI. 1977. A study of the reproductive biology of the red abalone, *Haliotis rufescens* Swainson, near Mendocino, California. *California Fish and Game* 63 (2): 80-94.
- GORDON, H. R. & P. A. COOK. 2013. World abalone supply, markets, and pricing: 2011 update. *Journal of Shellfish Research* 32 (1): 5-8. DOI: [10.2983/35.032.0102](https://doi.org/10.2983/35.032.0102)
- GUZMÁN-DEL PRÍO, S. A. 1992. A review of the biology of abalone and its fishery in Mexico. In: Shepherd, S. A., M. J. Tegner & S. A. Guzmán-del Prío (eds). *Abalone of the World: Their Biology, Fisheries and Culture*. Blackwell, Oxford, pp. 341-360.
- GUZMÁN-DEL PRÍO, S. A., J. CARRILLO-LAGUNA, J. BELMAR-PÉREZ & E. MARTÍNEZ-VILLEDA. 2001. Fecundidad de abulón azul (*Haliotis fulgens*) en Bahía Tortugas, BCS, en El Niño de 1997. Informe Técnico. ENCB-IPN. México. 17 p.
- HUMASON, G.L. 1979. *Animal Tissue Techniques*. W.H. Freeman and Co., San Francisco. 661 p.
- KASYANOV, V. L. 2001. *Reproductive Strategy of Marine Bivalves and Echinoderms*. Science Publishers, Enfield. USA. 229 p.
- LITAA, M. & S. S. DE SILVA. 2003. Spawning season, fecundity and proximate composition of the gonads of wild-caught blacklip abalone (*Haliotis rubra*) from Port Fairy waters, south eastern Australia. *Aquatic Living Resources* 16: 353-361. DOI: [10.1016/S0990-7440\(03\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(03)00067-6)
- MOLINA, M. J. 1983. Estimaciones de fecundidad en *Haliotis fulgens* de El Bajo, Bahía Rosario, Baja California. *Ciencias Pesqueras* 4: 77-95.
- MORSE, D. E. 1984. Biochemical and genetic engineering for improved production of abalones and other valuable molluscs. *Aquaculture* 39 (1-4): 263-282. DOI: [10.1016/0044-8486\(84\)90271-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(84)90271-0)
- ORTIZ-QUINTANILLA, M., A. R. GARCÍA-JUÁREZ & F. SALGADO-HERNÁNDEZ. 1987. Madurez, índice gonadal y fecundidad en dos especies de abulón *Haliotis* spp. (Mollusca: Gastropoda) de la Isla de Cedros, Baja

- California. VII Congreso Nacional de Oceanografía. Ensenada, B.C., México. pp. 86-92.
- POORE, G. C. B. 1973. Ecology of New Zealand abalones, *Haliotis* species (Mollusca: Gastropoda). *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 7 (1-2): 67-84. DOI: [10.1080/00288330.1972.9515445](https://doi.org/10.1080/00288330.1972.9515445)
- SPRUNG, M. 1991. Costs of reproduction: a study on metabolic requirements of the gonads and fecundity of the bivalve *Dreissena polymorpha*. *Malacologia* 33 (1-2): 63-70.
- VEGA-GARCÍA, D. 2016. Cambios históricos en las poblaciones de abulón azul y amarillo en la península de Baja California. Tesis de Doctorado en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, México. 70 p.
- VEGA-GARCÍA, P. D., A. PIÑÓN-GIMATE, N. VÉLEZ-ARELLANO & S. E. LLUCH-COTA. 2016. 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. *Journal of Shellfish Research* 34 (3): 879-884. DOI: [10.2983/035.034.0317](https://doi.org/10.2983/035.034.0317)
- VÉLEZ-ARELLANO, N., F. GARCÍA-DOMÍNGUEZ, D. B. LLUCH-COTA, J. L. GUTIÉRREZ-GONZÁLEZ & R. SÁNCHEZ-CÁRDENAS. 2015. Histological validation of morphochromatically-defined gonadal maturation stages of green abalone (*Haliotis fulgens*) Philippi, 1845 and pink abalone (*Haliotis corrugata*) Wood, 1828. *International Journal of Morphology* 33 (3): 1054-1059. DOI: [10.4067/s0717-95022015000300039](https://doi.org/10.4067/s0717-95022015000300039)
- VÉLEZ-ARELLANO, N., F. GARCÍA-DOMÍNGUEZ, D. B. LLUCH-COTA, J. L. GUTIÉRREZ-GONZÁLEZ, O. E. HOLGUÍN-QUIÑONES & M. RAMÍREZ-RODRÍGUEZ. 2016. Biochemical changes during the reproductive cycle of *Haliotis fulgens* (Philippi, 1845) (Gastropoda; Archaeogastropoda) on the Baja California Sur West Coast. *Journal of Shellfish Research* 35 (1): 199-206. DOI: [10.2983/035.035.0121](https://doi.org/10.2983/035.035.0121)
- WITTHAMES, P. R., A. THORSEN, H. MURUA, F. SABORIDO-REY, L. N. GREENWOOD, R. DOMÍNGUEZ, M. KORTA & O. S. KJESBU. 2009. Advances in methods for determining fecundity: application of the new methods to some marine fishes. *Fishery Bulletin* 107: 148-164.
- ZAR, J. H. 2010. *Biostatistical analysis*. 5th edition, Prentice Hall Inc, New Jersey, 944 p.