



ESTUDIOS DE GENÉTICA

EN POBLACIONES DE ABULÓN Y SUS APLICACIONES EN ORDENAMIENTO PESQUERO

Genetic studies in abalone populations and their applications in fisheries management

Resumen

Se presenta la integración de más de 10 años de investigación científica en genética de las poblaciones de abulón en México realizada en el CIBNOR. Esta investigación muestra cómo se pueden aplicar los marcadores genéticos tanto en estudios de genética poblacional como en identificación forense con la finalidad de contribuir al conocimiento aplicado para manejo de la pesquería. Se desarrollaron marcadores genéticos tipo microsatélites de ADN enfocados tanto al abulón azul *Haliotis fulgens* como amarillo *Haliotis corrugata* para diferenciación de poblaciones y análisis de parentesco. Un análisis de estructura genética de las poblaciones silvestres de ambas especies de abulón mostró homogeneidad genética en la costa del Pacífico en la región centro-sur de la Península de Baja California, México, pero con diferenciación genética en localidades distantes debido a un flujo genético limitado producto del aislamiento reproductivo. Por ello, no existen elementos que

Recursos Naturales y Sociedad, 2016. Vol. 2 (2): 24-39.
<https://doi.org/10.18846/renaysoc.2016.02.02.02.0002>

Ricardo Pérez-Enríquez¹, Noé Díaz-Viloria², Pedro Cruz-Hernández¹, Fernando Aranceta-Garza¹, José Luis Gutiérrez-González³, Alejandra Arciniega de los Santos¹, Adriana Max-Aguilar¹.

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Instituto Politécnico Nacional 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, B.C.S. 23096, México. E-mail: rperez@cibnor.mx

² Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Av. Instituto Politécnico Nacional s/n, Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, B.C.S. 23096, México

³ Centro Regional de Investigación Pesquera La Paz, La Paz, Baja California Sur, México



den soporte a un manejo pesquero delimitado por bancos en ambas especies. De manera particular, el abulón amarillo mostró una menor de diversidad genética que el azul, posiblemente debido a una mayor explotación pesquera histórica.

Los resultados obtenidos en pruebas de parentesco han indicado que la retención larvaria en bancos específicos es reducida, por lo que ni la agregación de reproductores ni la liberación de larvas han mostrado ser estrategias eficientes para favorecer el incremento de reclutas en bancos definidos.

Un análisis de perfiles genéticos con el gen de la lisina permitió la identificación de las especies de

abulón que se capturan y enlatan en México. El análisis comparativo de perfiles genéticos, basado en el gen nuclear 18S de abulón y otros moluscos, detectó producto enlatado conteniendo especies de moluscos comercializadas falsamente como abulón, lo que puede constituirse como una herramienta forense en futuras disputas legales. Este tipo de aplicación es potencialmente utilizable con otros productos comestibles en los cuales se sospecha de prácticas fraudulentas, ya sea por captura o comercialización ilegal o por sustitución de contenidos en productos procesados.

Palabras clave: Análisis forense, diversidad genética, gen 18S, genética de poblaciones, marcadores genéticos, retención larvaria

Abstract

This is an integrative work of more than 10 years of research in population genetics of abalone in Mexico performed at CIBNOR. It shows how molecular tools have the potential to support abalone fisheries management through population genetics and forensic analyses. Microsatellite DNA markers were developed on blue (green for its name in English) *Haliotis fulgens* and yellow abalone (pink for its name in English) *H. corrugata* to be used for genetic differentiation on populations and for parentage analysis. The analysis of genetic structure on wild populations of both species revealed genetic homogeneity in the Pacific coast of the central region of the Baja California Peninsula, Mexico, with genetic differentiation on distant localities due to a limited gene flow as a result of reproduction isolation. From this result we suggest that no evidences were found supporting the management of the fishery based on individual abalone beds. Pink abalone shows lower genetic diversity than green abalone, possibly due to higher historical fishery exploitation.

The parentage analysis suggested that larval retention within beds is reduced, indicating that neither broodstock aggregation nor the release of abalone larvae for stock enhancement are efficient strategies to increase recruitment in specific beds.

An analysis of the genetic profiles with the lysine gene allowed the identification of abalone species captured and processed in Mexico. The comparative analysis, based on the 18S gene, among abalone and other mollusks, detected canned product containing mollusks that are commercialized allegedly as abalone or 'abalone type', which could constitute a forensic tool in future legal disputes. This type of application can also be used with other edible products in which fraudulent practices are suspected either because of illegal catch or commercialization or substitution in processed products.

Keywords: Forensic analysis, genetic diversity, 18S gene, genetic markers, population genetics, larval retention

Introducción

Estudiar la genética de la población de una especie significa determinar la composición y distribución de su diversidad genética en las localidades en donde dicha especie vive, lo cual puede ser aplicado a las estrategias de manejo de un recurso pesquero o acuícola (Hallerman et al., 2003). Este conocimiento nos permite identificar de poblaciones pescables específicas, el reconocimiento de marcas únicas de ADN de individuos de cultivo liberados al medio silvestre, la evaluación del efecto de un cultivo sobre la población silvestre, la identificación forense de productos frescos y enlatados, y la caracterización del pedigrí y consanguinidad en poblaciones en cultivo, entre otros (FAO, 1993; Hallerman et al., 2003).

El abulón (*Haliotis* spp) es un molusco gasterópodo marino que es base de una importante pesquería en México, ya que posee una demanda en el mercado internacional y un alto valor comercial (León-Carballo y Muciño-Díaz, 1996)

La abundancia de las capturas

de abulón en México y el mundo se ha visto disminuida debido a la sobrepesca, la pesca ilegal y a factores ambientales que en algunos años podrían ser particularmente importantes debido a grandes cambios climáticos (Guzmán del Prío et al. 2003).

En México, la pesquería del abulón está concesionada a las sociedades cooperativas que se desarrollan a lo largo de la Península de Baja California y se constituye por dos especies: el abulón azul *Haliotis fulgens* y el abulón amarillo *H. corrugata*, siendo el abulón azul la especie más importante (SAGARPA, 2012). La producción promedio de 2008 a 2013 fue de aproximadamente 609 toneladas que representa un valor de 86 millones de dólares anuales (CONAPESCA, 2013).

Con el fin de recuperar la abundancia de la población silvestre, la pesquería del abulón en Baja California se ha venido regulando desde 1982 con cuotas de captura, época de veda, zonas concesionadas y tallas mínimas de captura (Vega et al. 1994). A pesar de que en México este recurso se

los antecedentes de trabajos en haliótidos a lo largo del Pacífico Nororiental (Canadá, EE.UU. y México) con diversos marcadores moleculares, en las especies de abulón rojo (*Haliotis rufescens*), negro (*H. cracherodii*), azul (*H. fulgens*) y amarillo (*H. corrugata*). Los resultados de estos análisis varían en función de la especie y el marcador genético utilizado, indicando tanto patrones de homogeneidad genética (Gaffney et al., 1996; Hamm y Burton, 2000; Zúñiga et al. 2000), o bien de diferenciación de poblaciones (Del Rio-Portilla y González-Avilés, 2001; Chambers et al., 2006).

En nuestros estudios se caracterizaron a las poblaciones de abulón azul y amarillo de nueve y cinco localidades, respectivamente, de la Península de Baja California, México y California, EE.UU. (Fig. 2) (Gutiérrez-González et al., 2007; Díaz-Viloria et al., 2009). La diversidad genética se estimó mediante número de alelos (variantes) por locus y heterocigosidad (fracción entre 0 y 1.0).

La diversidad genética del abulón azul *H. fulgens* fue similar entre localidades (sin diferencias

estadísticas), aunque los sitios ubicados en los extremos de la distribución (Isla Magdalena e Isla Guadalupe) mostraron valores

El abulón amarillo presentó un patrón similar de composición y diversidad genética entre localidades, con el valor más bajo

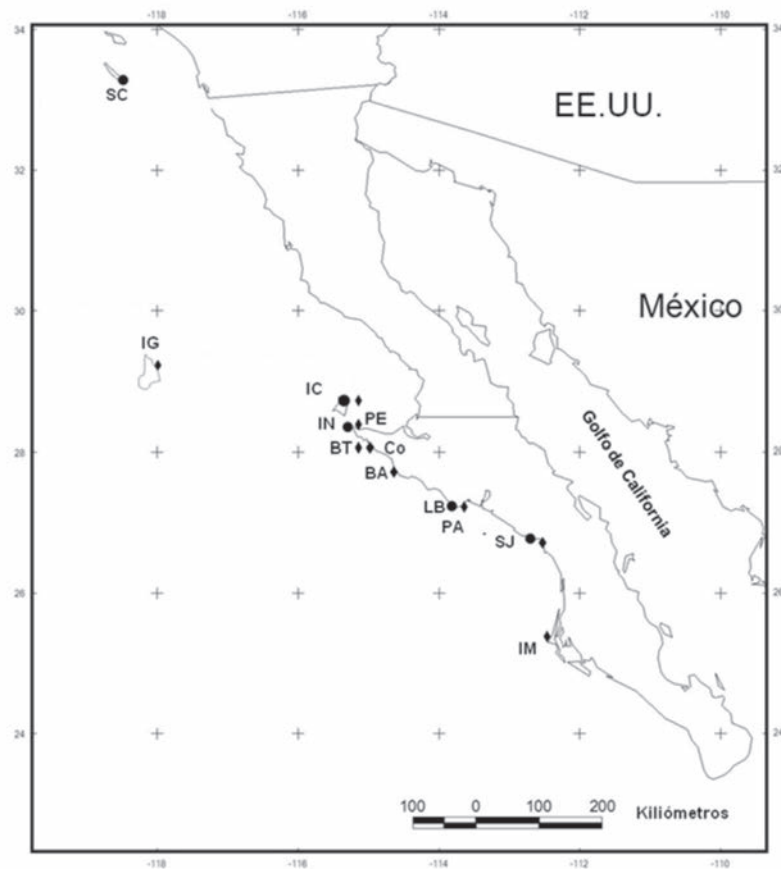


Fig. 2. Localidades de recolecta de abulón azul *Haliotis fulgens* (diamante) y amarillo *H. corrugata* (círculo) en Baja California, México y California, EE.UU. Localidades de B.C.: Isla Magdalena (IM); San Juanico (SJ); Punta Abreojos (PA); La Bocana (LB); Bahía Asunción (BA); Bahía Tortugas (BT); Corralito (Co); Punta Eugenia (PE); Isla Natividad (IN). Localidades de B.C.: Isla Cedros (IC); Isla Guadalupe (IG). Localidad de los EE.UU.: San Clemente (SC).

ligeramente menores que el resto (Fig. 3; Gutiérrez-González et al., 2007). El análisis de composición genética indicó que las localidades de la Península de Baja California son genéticamente homogéneas y que Isla Guadalupe es una población aislada, genéticamente distinta.

en San Clemente, EE.UU. que es el sitio más extremo de la distribución (Fig. 3; Díaz-Viloria et al., 2009).

En resumen, los resultados indicaron que ambas especies se comportan como una sola población genética en la parte centro-sur de la Península de Baja California (de Isla de Cedros,

B.C. a Isla Magdalena, B.C.S.), con diferencias en los sitios más alejados (Isla Guadalupe, B.C. en abulón azul y San Clemente, EE.UU. en abulón amarillo). Los patrones de corrientes en la región en conjunción con los eventos reproductivos (Lynn y Simpson, 1987; Sotka et al., 2004; Zaitsev et al., 2007) podrían explicar los resultados.

La menor diversidad genética observada en abulón amarillo en comparación con el azul (Figs. 3a y 3b) pudiera ser consecuencia de la reducción del tamaño efectivo de población como resultado de la actividad pesquera. De acuerdo con Sierra-Rodríguez et al. (2006), la producción pesquera de abulón en México entre 1956 y 1976 se mantuvo alrededor de las 3,000 TM, en las cuales el abulón amarillo contribuía con el 70-80%. En la actualidad estas cifras se invirtieron con una contribución de aproximadamente el 20% de abulón amarillo, siendo el resto abulón azul (SAGARPA, 2012).

En términos del manejo pesquero, la Carta Nacional Pesquera señala que cada banco debe ser manejado de manera independiente (SAGARPA, 2012).

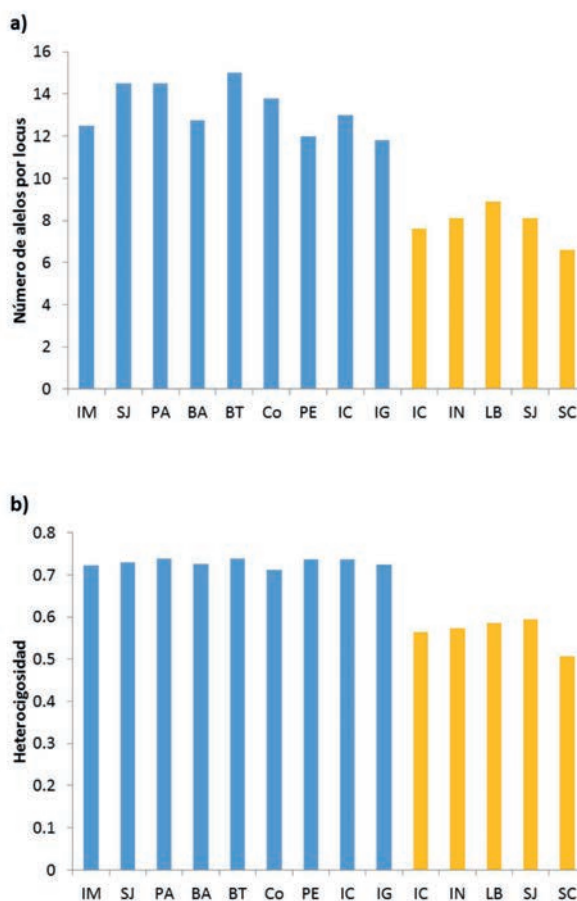


Fig. 3. Diversidad genética promedio de abulón azul *Haliotis fulgens* y abulón amarillo *H. corrugata* de la Península de Baja California y California (EEUU). a) Número de alelos por locus; b) Heterocigosidad esperada (valores mínimo y máximo 0 y 1, respectivamente). Ver significado de iniciales en Fig. 2.

Sin embargo, de acuerdo los resultados de los presentes estudios no existen evidencias para considerar que ese manejo sea el ideal.

Segunda parte. Capacidad de retención de larva de bancos abuloneros y evaluación del éxito de un programa de repoblación.

Una medida de manejo adicional para la recuperación de las poblaciones naturales es la repoblación, la cual se entiende como la liberación de larva producida en el laboratorio al medio silvestre con el fin de incrementar la abundancia de la población. A reserva de controlar algunos riesgos desde el punto de vista genético (Perez-Enriquez et al. 2013), existen debates sobre el éxito de los programas de repoblación en abulón y otras especies, ya que mientras en algunos casos se han obtenido claras evidencias de recuperación de las pesquerías, en otros

existen pocas o nulas evidencias (Bell et al. 2006).

Una de las características importantes para contribuir al éxito de la repoblación es la capacidad de la larva de asentarse dentro del mismo banco en donde ocurre la reproducción o la liberación propiamente dicha. Este tipo de estudios son complejos, sin embargo, el desarrollo de marcadores genéticos ha abierto las posibilidades para este tipo de evaluaciones, tal como se ha mostrado en algunas especies de peces marinos (Christie et al. 2010).

- Retención larvaria

La retención larvaria en bancos abuloneros se estimó mediante análisis de paternidad basados en microsatélites (Díaz-Viloria et al., 2013b; Max-Aguilar et al. 2015). En bancos abuloneros de La Bocana, B.C.S. y Bahía Asunción, se delimitaron áreas específicas en donde se recolectaron adultos y juveniles de abulón azul (Max-Aguilar, 2014) y amarillo (Díaz-Viloria et al., 2013b), respectivamente (Figs. 4-6). A estas muestras se les extrajo el ADN y se obtuvieron los perfiles genéticos,

con los cuales se realizaron análisis de paternidad mediante análisis probabilísticos (Kalinowski et al., 2007).

En abulón amarillo se recolectaron 69 juveniles localizados a diversas distancias a partir de un **núcleo de agregación** de reproductores (Díaz-

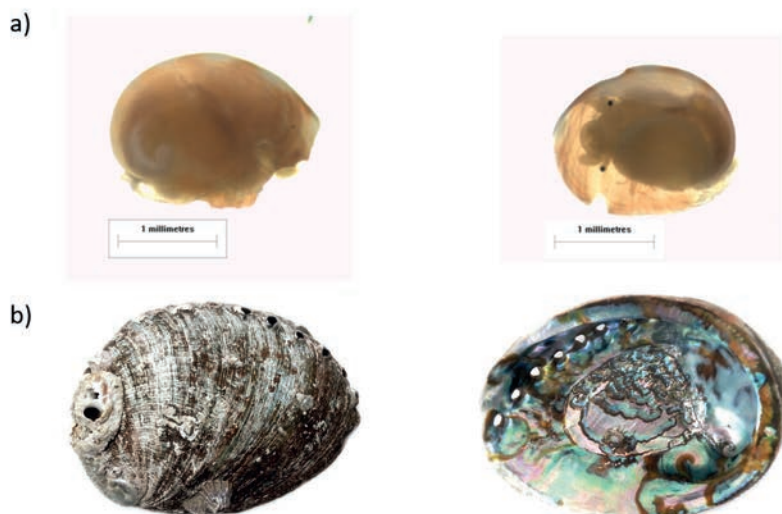


Fig. 4. Abulón azul. a) Vista dorsal y ventral de juvenil (Foto: Adriana Max Aguilar). b) Vista dorsal y ventral de adulto (Foto: Ricardo Pérez Enríquez).

Viloria et al., 2013b), de los cuales aproximadamente el 4% dieron resultados de parentesco positivos con los propios abulones adultos del núcleo. Si bien este valor es relativamente bajo, se sugiere hacer un análisis a mayor escala para determinar si la agregación de reproductores puede ser una estrategia funcional para incrementar la productividad de bancos específicos

Por lo que respecta al abulón azul, las áreas fueron relativamente restringidas con aproximadamente 200 m² por cuadrante (Max-Aguilar, 2014). Los análisis de parentesco con los juveniles encontrados dieron un porcentaje de asignación de parentesco similar o ligeramente mayor al estudio con abulón amarillo (3.7 – 12.5%), por lo que se infieren patrones similares de asentamiento larvario para ambas especies.

- Repoblación

Para la evaluación del éxito de un programa de repoblación, se determinó el perfil genético de dos lotes de reproductores de abulón azul de laboratorios productores de larva de las localidades de Bahía Tortugas

y Punta Eugenia, B.C.S. (Gutiérrez-González y Pérez-Enriquez, 2005). Asimismo, se caracterizaron lotes de larva producida por los mismos, los cuales fueron liberados en bancos cercanos a dichas localidades. Los perfiles genéticos de juveniles recuperados de los bancos sujetos de estudio a los 6 y 12 meses se compararon con los perfiles genéticos de los lotes originales para determinar si el origen fue o no el laboratorio.

Los juveniles recolectados en Bahía Tortugas, B.C.S. no coincidieron con los lotes que fueron liberados; en contraste, en Punta Eugenia, B.C.S. si lo fueron (Gutiérrez-González y Pérez-Enriquez, 2005). Muy probablemente la larva liberada en Bahía Tortugas fue desplazada por las corrientes, por lo que se asentó en otro banco o no sobrevivió. De estos resultados se sugirió que para este tipo de programas, la liberación de juveniles pudiera dar mejores resultados.

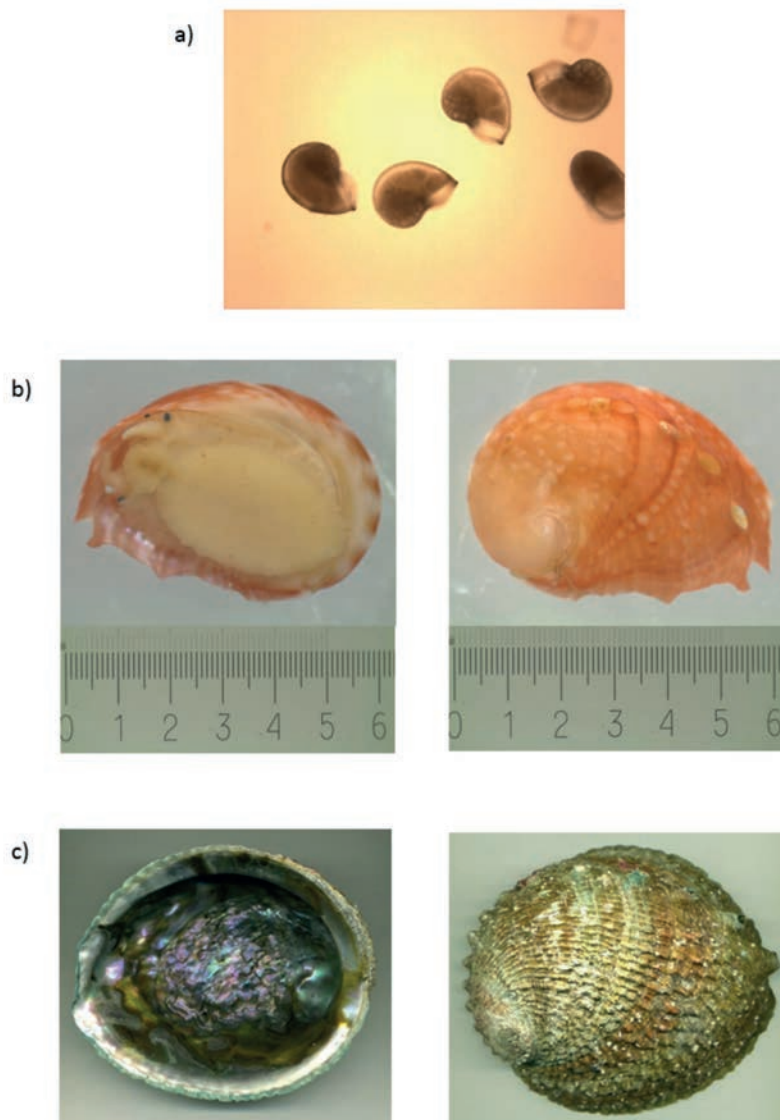


Fig. 5. Abulón amarillo. a) Larvas en estadio veliger producidas en laboratorio. b) Vista ventral y dorsal de juvenil recolectado en La Bocana, B.C.S. c) Vista ventral y dorsal de concha de adulto (Fotos: Noé Díaz Viloria).

Tercera parte. Certificación genética de especies de abulones y gasterópodos en muestras frescas y productos enlatados

La pesca ilegal del abulón, tanto en México como en otros países, se ha constituido como una actividad altamente lucrativa que extrae mayores cantidades de producto de lo que se captura de pesca comercial (Ponce-Díaz et al. 2013).

Una de las limitantes que han tenido las autoridades para el decomiso de productos de la pesca furtiva de abulón, es la imposibilidad de identificar la especie y el origen de dichos productos, en particular cuando estos

ya tienen algún tipo de proceso (principalmente desconchado o enlatado). Para ello, el análisis forense basado en técnicas de ADN ha cobrado relevancia. En el caso del abulón, con esta tecnología es posible diferenciar entre especies Sudafricanas (Sweijd et al. 1998), así como otras del hemisferio sur (Elliott et al., 2002).

Un caso adicional en donde se requiere de la identificación forense de productos enlatados, es en aquellos moluscos con características similares al abulón (generalmente lapas o caracoles) que son etiquetados deliberadamente como “abulón”, productos “tipo abulón” o productos que muestran en la fotografía de la etiqueta a un abulón. La distinción de lo que biológicamente es un abulón en conjunto con sus características genéticas, permitirían hacer definiciones claras desde el punto de vista comercial, debido a que las prácticas de etiquetado inadecuadas ponen en desventaja a la comercialización del abulón.

- Certificación genética de las tres especies principales de abulones en el Noroeste de México

Se recolectaron tejidos de músculo de abulón fresco de ejemplares de abulón amarillo *Haliotis corrugata*, azul *H. fulgens* y rojo *H. rufescens*, con los cuales se realizó la caracterización genética de un gen (lisina espermática) de

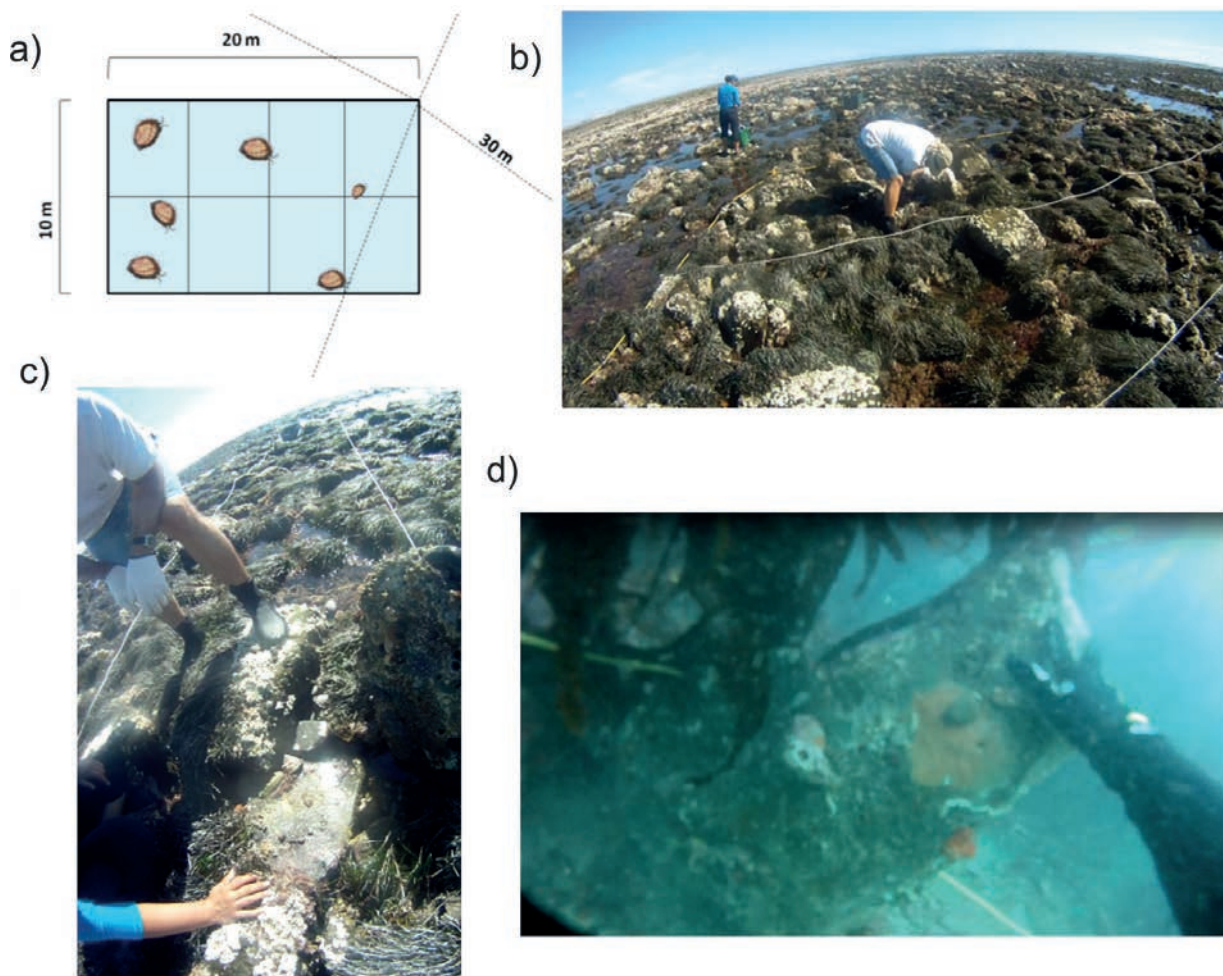


Fig. 6. Área delimitada para la toma de muestras de juveniles y reproductores de abulón en La Bocana, B.C.S. a) Esquema del cuadrante; b-c) Vista panorámica de la zona intermareal; d) Juvenil debajo de roca en área submareal.

cada una de las especies (Aranceta-Garza et al., 2011). Las secuencias de ADN de estas especies se depositaron en el banco de datos mundial “GenBank”, y utilizaron para rediseñar un sistema para amplificar fragmentos de ADN de tamaño corto específicos para la diferenciación de las 3 especies.

Se recolectaron tejidos de abulón enlatado (salmuera al alto vacío) de diferentes compañías comercializadoras nacionales (Aranceta-Garza et al., 2011). Los productos enlatados se manejaron como muestras “ciegas”, es decir sin tener conocimiento previo de qué especie se estaba comercializando en cada lata, a pesar de que cada compañía aportó dicha información, ya sea en su “troquelado” o por comunicación personal.

El análisis forense de las muestras enlatadas mostró los patrones genéticos característicos de abulón azul y amarillo, coincidiendo en la mayor parte de los casos la especie indicada en el troquelado con el diagnóstico molecular (Tabla 1; Aranceta-Garza et al., 2011).

Hubo dos casos con discrepancia entre la especie declarada en la

Tabla 1. Análisis forense del contenido de abulón en lata de las marcas comerciales “Rey del Mar” [enlatadas por las Cooperativas Pesqueras “La Purísima” (CPU); “Leyes de Reforma” (CLR); “Bahía Tortugas” (CBT); “Emancipación” (CEM)], CALMEX, CEDMEX y Cooperativa “Punta Abreojos” (ABO) mediante diagnóstico molecular con el gen lisina (marcador LisHal5). Hf: abulón azul; Hc: abulón amarillo. Los diagnósticos en negritas y subrayados señalan no correspondencia con el troquelado.

Marca	No. de latas	Especie troquelada	Diagnóstico
CPU	8	Hf o Hc	Hf
CLR	7	Hf	Hc
CBT	8	Hf	Hf
CEM	11	Hf	Hf
CALMEX	1(2*)	Hc	Hc
	1(2*)	Hf	Hf
CEDMEX	1(2*)	Hf	Hf
	1(2*)	Hc	Hf/ Hc**
ABO	1(2*)	Hf	Hc
	1(3*)	Hc	Hc

* El contenido de la lata era de 2 o 3 ejemplares

** Resultado positivo para ambas especies

lata y el resultado del análisis (Tabla 1), lo que muestra la capacidad de los marcadores genéticos de detectar variaciones en las especies de abulón comercializadas, lo cual puede tener implicaciones si en algún momento se enlatan especies no autorizadas en los permisos de captura. No se



Fig. 7. Algunas marcas comerciales utilizadas en el análisis forense para determinar cuáles contenían abulón.

detectó la presencia de patrones genéticos de abulón rojo, lo cual es un indicativo de que dicha especie no se está comercializando en productos enlatados.

- Análisis forense para la identificación de abulón enlatado y moluscos-gasterópodos comercializados como “tipo abulón”.

Se analizaron los tejidos de productos enlatados teniendo como única referencia de contenido lo rotulado en su etiqueta, es decir, la leyenda “Abulón” o “producto tipo abulón” ya sea en la descripción del producto o en la lista de ingredientes (Fig. 7). Asimismo se analizaron latas sin la leyenda “abulón”, pero con la imagen de una concha de abulón en la etiqueta.

La extracción de ADN de producto enlatado fue exitosa, a pesar del procesamiento requerido para el propio enlatado (alta temperatura y presión). El análisis comparativo del ADN se realizó con el gen 18S ARNr (Aranceta-Garza et al., 2011).

Se obtuvieron patrones genéticos distintivos que permitieron discriminar entre los cuatro grupos (abulones, loco, lapa

y productos enlatados). El análisis forense molecular realizado a siete marcas comerciales de producto enlatado troquelado como abulón, reveló que sólo 5 contenían ese producto. Las otras dos contenían el molusco conocido como “loco chileno” *Concholepas concholepas*. Asimismo se confirmó que cinco marcas que manejan la imagen del abulón o la frase “tipo abulón”, no contenían dicha especie. Esto indicó que existen marcas que comercializan un producto falsamente etiquetado como “abulón”.

Con el fin de optimizar la metodología de análisis, se exploran nuevas técnicas como la de “Disociación de Alta Resolución” (*High Resolution Melting* o *HRM* por su nombre en inglés), mediante la cual fragmentos de un gen determinado (18S en este caso) muestran curvas de disociación (separación de la doble hebra del ADN) particulares de acuerdo a la secuencia de la especie. Un análisis en muestras frescas de abulón y dos especies de moluscos mostró una clara diferenciación entre ellas (Fig. 8; Arciniega de los Santos, 2012), por lo que tiene potencial de aplicación a muestras enlatadas.

Conclusiones generales

Las herramientas genético moleculares representan un importante potencial para apoyar en el manejo pesquero de la especie. Este estudio mostró la aplicación de los marcadores genéticos tanto en estudios de genética-poblacional como en identificación forense.

Se desarrollaron más de 10 marcadores genéticos tipo microsatélites enfocados al abulón amarillo *Haliotis corrugata* y más de 25 para el abulón azul *Haliotis fulgens*.

Se observó que la diversidad genética de *Haliotis fulgens* permanece alta, indicando que la población se encuentra genéticamente estable y con potencial para la recuperación.

Por su parte, el abulón amarillo muestra niveles menores de diversidad, quizá afectados por una mayor sobreexplotación pesquera.

Por otra parte, existe suficiente flujo genético entre las localidades de la Península de Baja California para mantener la homogeneidad genética. Es probable que la poblaciones más alejadas (Isla

Guadalupe para el abulón azul y California para el amarillo) estén teniendo procesos de aislamiento reproductivo, que por consecuencia limitan el flujo genético y generan la diferenciación de estos sitios con respecto del resto. Por ello, no existen elementos que soporten un manejo pesquero delimitado por bancos en ambas especies.

La retención larvaria en bancos específicos es reducida, por lo que tanto la estrategia de agregación de reproductores como la liberación de larva puede tener un efecto limitado para el incremento de reclutas de los bancos.

Un fragmento del gen de la lisina espermática es recomendable para diferenciación de producto enlatado de especies de abulón azul, amarillo y rojo. Por lo que se refiere a la diferenciación de producto enlatado de otras especies de moluscos comercializadas como “tipo abulón” (loco chileno, lapas y caracoles), el gen 18S nuclear resulta la herramienta idónea.

Con los resultados de este trabajo tanto las autoridades como las cooperativas pesqueras podrán contar con un apoyo técnico-científico con marcadores genéticos

forenses para la certificación molecular de las especies de abulón que se comercializan en México, con la posibilidad de ejercer un verdadero control en cuanto a las especies que se están extrayendo y procesando (congelado y fresco desconchado, seco, y enlatado).

Asimismo, podrán constituirse como una herramienta forense en futuras disputas legales, a fin de evitar el comercio ilegal de productos que no son mexicanos, o que no son abulón, o que se comercializan como “tipo abulón” o con la imagen de un abulón.

Reconocimientos

Los fondos CONACYT-Ciencia Básica (no. 79482) y SAGARPA-CONACYT (no. 2004-082) proveyeron el soporte financiero. Se agradece a las Sociedades Cooperativas de Producción Pesquera que cuentan con la concesión para la captura del abulón y aportaron las muestras “Pescadores Nacionales de Abulón”, “Buzos y Pescadores de La Baja California”, “La Purísima”, “Bahía Tortugas”, “Leyes de Reforma”, “Progreso”, “Punta Abreojos”, “Puerto Chale”, “Melitón Albañez”, “Abuloneros y Langosteros de

la Isla Guadalupe”. La muestra de San Clemente, EE.UU. fue proporcionada por el Scripps Institution of Oceanography (SIO).

Se agradece la participación y/o apoyo técnico de: S.A. Guzmán del Prío (CICIMAR-IPN), R.S. Burton (SIO), M.A. de Río-Portilla (CICESE), G. Fiore-Amaral (CONAPESCA), D. Aguilar-Osuna (SCPP “Progreso”), y Horacio Bervera, Juan José Ramírez y S. Ávila-Álvarez (CIBNOR). Los Autores agradecemos al Lic. Gerardo Hernández el diseño gráfico editorial y a la Ms.C. Diana Dorantes la revisión del Idioma Inglés del resumen.

Referencias

- Aranceta-Garza F., R. Pérez-Enriquez R. y P. Cruz. 2011. *PCR-SSCP method for genetic differentiation of canned abalone and commercial gastropods in the Mexican retail market*. Food Control 22: 1015-1020.
- Arciniega de los Santos, A. 2012. *Identificación molecular de larvas de moluscos gasterópodos mediante el gen 18S ARNr*. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. México. 73 pp.

- Bell J.D., D.M. Bartley, K. Lorenzen y N.R. Loneragan. 2006. *Restocking and stock enhancement of coastal fisheries: Potential, problems and progress*. Fisheries Research 80: 1-8.
- Chambers, M., G. Van Blaricon, L. Hauser, F. Utter y C. Friedman. 2006. *Genetic structure of black abalone (Haliotis cracherodii) populations in the California islands and central California coast: Impacts of larval dispersal and decimation from withering syndrome*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 336: 173-185.
- CONAPESCA. 2013. *Anuario Estadístico de Pesca 2013*. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Pesqueros y Alimentación. México.
- Cruz, P., A. M. Ibarra, G. Fiore-Amaral, C. E. Galindo-Sánchez y G. Mendoza-Carrión. 2005. *Isolation of microsatellite loci in green abalone (Haliotis fulgens) and cross-species amplification in two other North American red (Haliotis rufescens) and pink (Haliotis corrugata) abalones*. Molecular Ecology Notes 5: 857-859.
- Del Río-Portilla, M.A. y J.G. González-Avilés. 2001. *Population genetics of the yellow abalone, Haliotis corrugata, in Cedros and San Benito Islands: A preliminary survey*. Journal of Shellfish Research 2: 765-770.
- Díaz-Viloria, N., R. Pérez-Enriquez, G. Fiore-Amaral, R.S. Burton y P. Cruz. 2008. *Isolation and cross-amplification of microsatellites in pink abalone (Haliotis corrugata)*. Molecular Ecology Resources 8 (3): 701-703.
- Díaz-Viloria, N., P. Cruz, S.A. Guzmán-Del Prío y R. Pérez-Enriquez. 2009. *Genetic connectivity among Pink abalone Haliotis corrugata populations*. Journal of Shellfish Research 28: 599-608.
- Díaz-Viloria, N., R. Pérez-Enriquez, P. Cruz-Hernández y D. Aguilar-Osuna. 2013a. *Herencia mendeliana en microsatélites de abulón amarillo Haliotis corrugata*. Inter ciencia 38: 455-460.
- Díaz-Viloria, N., S.A. Guzmán-Del Prío, P. Cruz y R. Pérez-Enriquez. 2013b. *Assessment of self-recruitment in a pink abalone (Haliotis corrugata) aggregation by parentage analyses*. Journal of Shellfish Research 32: 105-113.
- Elliott, N.G., J. Bartlett, B. Evans y N. Sweijd. 2002. *Identification of southern hemisphere abalone (Haliotis) species by PCR-RFLP analysis of mitochondrial DNA*. Journal of Shellfish Research 21: 219 – 236.
- FAO. 1993. *Report of the Expert Consultation on Utilization and Conservation of aquatic genetic resources*. FAO Fisheries Report 491. 58 pp.
- Gaffney, P.M., V.P. Rubin, D. Hedgecock, D.A. Powers, G. Morris y L. Herford. 1996. *Genetic effects of artificial propagation: signals from wild and hatchery populations of red abalone in California*. Aquaculture 143: 257-266.
- Gutiérrez-González, J.L. y R. Pérez-Enriquez. 2005. *A genetic evaluation of stock enhancement of blue abalone Haliotis fulgens in Baja California, Mexico*. Aquaculture 247: 233-242.
- Gutiérrez-Gonzalez, J.L., P. Cruz, M.A. del Río-Portilla y R. Pérez-

- Enriquez. 2007. *Genetic structure of green abalone Haliotis fulgens population off Baja California, Mexico*. Journal of Shellfish Research 26: 839-846.
- Guzmán del Prío, S.A., L. Carreón-Palau, J. Belmar-Perez, J. Carrillo y L.R. Herrera-Fregoso. 2003. *Effects of the "El Niño" event on the recruitment of benthic invertebrates in Bahía Tortugas, Baja California Sur*. Geofísica Internacional 42(3): 429-438.
- Hallerman E.M., B. Brown y J. Epifanio. 2003. *An overview of classical and molecular genetics*. En: Hallerman E.M. (ed.). Population genetics: Principles and applications for fisheries scientists. American Fisheries Society. Bethesda, Maryland. pp. 3-20.
- Hamm, D.E. y R.S. Burton. 2000. *Population genetics of black abalone, Haliotis cracherodii, along the central California coast*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 254: 235-247.
- Kalinowski, S.T., M. L. Taper y T. C. Marshall. 2007. *Revising how the computer program CERVUS accommodates genotyping error increases success in paternity assignment*. Molecular Ecology 16:1099-1106.
- León-Carballo, G. y M. Muciño-Díaz. 1996. *Pesquería de Abulón*. pp. 15-41. En Casas-Valdez, M. y G. Ponce-Díaz (Eds.). Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Vol. I. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.; La Paz, México. 350 pp.
- Max-Aguilar, A. 2014. *Retención larvaria en abulón azul Haliotis fulgens mediante análisis de parentesco en B.C.S., México*. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- Max-Aguilar, A., A. Munguia-Vega, N. Díaz-Viloria y R. Perez-Enriquez. 2015. *Development and characterization of 24 novel tetranucleotide microsatellite loci in green abalone Haliotis fulgens*. Conservation Genetic Resources 7: 381-383.
- Ponce-Díaz, G., F. Arreguín-Sánchez, A. Hernández-Llamas, P. del Monte-Luna y M. Ramade-Villanueva. 2013. *Estimación de la captura ilegal de abulón y langosta en la costa de la península de Baja California*. Ciencias Marinas 39: 323-329.
- SAGARPA. 2012. *Carta Nacional Pesquera. ACUERDO por el que se da a conocer la Actualización de la Carta Nacional Pesquera*. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Diario Oficial de la Federación. 24 de agosto de 2012. pp: 25-26.
- Sierra-Rodríguez, P., M. Muciño-Díaz y J.L. Gutiérrez-González, J.L. 2006. *La pesquería del Abulón*. pp. 3-38. En: Arreguín-Sánchez, F., L. Beléndez-Moreno, I. Méndez Gómez Humarán, R. Solana Sansores y C. Rangel Dávalos (eds.). Sustentabilidad y Pesca Responsable en México: Evaluación y Manejo. Instituto Nacional de Pesca, México, D.F.
- Sotka, E.E., J.P. Wares, J.A. Barth, R.K. Grosberg y S.R. Palumbi. 2004. *Strong genetic clines and geographical variation in gene flow in the rocky intertidal barnacle Balanus*



- glandula. *Molecular Ecology* 13: 2143–2156.
- Sweijid, N., R.C.K. Bowie, A.L. Lopata, A.M. Marinaki, E.H. Harley y P.A. Cook. 1998. A PCR technique for forensic, species-level identification of abalone tissue. *Journal of Shellfish Research* 17: 889-895.
- Vega, V.A., J.G. León y M. Muciño. 1994. *Sinopsis de información biológico pesquera y acuicultura de los abulones (*Haliotis* spp.) de la Península de Baja California, México*. Documento Interno. SEPESCA/CIBNOR.
- Zaitsev, O., O. Sánchez-Montante y C.J. Robinson. 2007. *Características del ambiente hidrofísico de la plataforma continental y zona oceánica adyacente al sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas*. pp. 29-43. En: Funes-Rodríguez, R., J. Gómez-Gutiérrez y R. Palomares-García (eds.). *Estudios ecológicos en Bahía Magdalena*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B.C.S., México.
- Zúñiga, G., S.A. Guzmán del Prío, R. Cisneros y G. Rodríguez. 2000. *Population genetic analysis of the abalone *Haliotis fulgens* (Mollusk: Gasteropoda) in Baja California, Mexico*. *Journal of Shellfish Research* 19 (2): 853-859.

Cita de este artículo

Pérez-Enríquez, R., Díaz-Viloria, N., Cruz-Hernández, P., Aranceta-Garza, F., Gutiérrez-González, J.L., Arciniega de los Santos, A., Max-Aguilar, A. 2016. Estudios de genética en poblaciones de abulón y sus aplicaciones en ordenamiento pesquero. *Recursos Naturales y Sociedad*, Vol. 2 (2): 24-39. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2016.02.02.02.0002>

Sometido: 18 de Mayo de 2016

Revisado: 23 de Julio de 2016

Aceptado: 21 de Agosto de 2016

Editor asociado: Dr. Alfredo Ortega Rubio

Idioma Inglés Abstract: Ms.C. Diana Dorantes

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández

