

Contribuciones en ciencias del mar

de la Universidad Nacional de Colombia

NÉSTOR HERNANDO CAMPOS
ARTURO ACERO PIZARRO
EDITORES



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

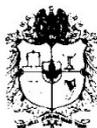
**Contribuciones
en ciencias del mar**
de la Universidad Nacional de Colombia

Contribuciones en ciencias del mar

de la Universidad Nacional de Colombia

**NÉSTOR HERNANDO CAMPOS CAMPOS
ARTURO ACERO PIZARRO**

EDITORES



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE CARIBE
INSTITUTO DE ESTUDIOS EN CIENCIAS DEL MAR - CECIMAR

Bogotá, D. C., 2016

- © Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe
Instituto de Estudios en Ciencias del Mar – CECIMAR
- © Néstor Hernando Campos Campos
Arturo Acero Pizarro
Editores
- © Jenny Consuelo Barrera, Brigitte Gavio y J. Ernesto Mancera-Pineda,
Ana María Alvarado-Laverde y Adriana Santos-Martínez, Paula Pabón Quintero
y Arturo Acero P., y Ana Milena Lagos, Edna Judith Márquez Fernández,
Juan Aicardo Segura Caro y Natalia Restrepo Escobar, Olga María Pérez Carrascal,
Magally Romero-Tabarez, Gloria Ester Cadavid Restrepo, Claudia Ximena Moreno Herrera
Autores varios

Colección Nación

Primera edición, agosto de 2016

ISBN 978-958-775-806-1 (papel)

Impreso:

Centro de Copiado SION

Calle 15 # 3 – 29, Tel: 4230097

Santa Marta

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales

Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

Campos Campos, Néstor Hernando, 1955-

Contribuciones en ciencias del mar de la Universidad Nacional de Colombia /
Néstor Hernando Campos Campos, Arturo Acero Pizarro, editores. -- Primera
edición. -- Universidad Nacional de Colombia (Sede Caribe). Instituto de
Estudios en Ciencias del Mar (CECIMAR), 2016.

142 páginas : ilustraciones, diagramas, figuras, fotografías, mapas. --
(Colección nación)

Incluye referencias bibliográficas

ISBN 978-958-775-806-1 (papel).

1. Ciencias del mar 2. Ecología marina 3. Fauna marina -- Fisiología
4. Biología marina 5. Biotecnología marina 6. Genética animal 7. Microbiología
marina 8. Invasiones biológicas 9. Mar Caribe -- Colombia I. Acero Pizarro,
Arturo, 1954-, editor II. Título III. Serie

CDD-21 577.7301 / 2016

Citar obra completa como:

Campos, N. H. y A. Acero P. (eds.). 2016. Contribuciones en Ciencias del Mar de la Universidad Nacional de Colombia-2015. CECIMAR, Sede Caribe, Universidad Nacional de Colombia, Santa Marta, 141 p.

Citar capítulo como:

Nombre de los autores. 2016. Nombre del capítulo. En: Campos, N. H. y A. Acero P. (eds.). 2016. Contribuciones en Ciencias del Mar de la Universidad Nacional de Colombia-2015. CECIMAR, Sede Caribe, Universidad Nacional de Colombia, Santa Marta, 141 p.

Contenido

Presentación	9
Parte 1	
Aspectos ecológicos	11
Macroalgas asociadas al hábitat del gasterópodo <i>Cittarium pica</i> (Linneaus, 1758), en la isla de San Andrés, Colombia	15
<i>Jenny Consuelo Barrera, Brigitte Gavio y J. Ernesto Mancera-Pineda</i>	
Introducción	15
Materiales y métodos	17
Resultados	19
Discusión	25
Agradecimientos	25
Referencias	25
Cambios espacio-temporales de ensamblajes ícticos en arrecifes de la isla de San Andrés, Caribe colombiano	31
<i>Ana María Alvarado-Laverde y Adriana Santos-Martínez</i>	
Introducción	31
Área de estudio	32
Materiales y métodos	34
Resultados	35
Discusión	39
Conclusiones	43
Agradecimientos	44
Referencias	44
Ecología trófica del invasor pez león <i>Pterois volitans</i> en el Caribe colombiano: impacto sobre familias ícticas de Santa Marta y San Andrés	51
<i>Paula Pabón Quintero y Arturo Acero P.</i>	
Introducción	51
Métodos	52
Resultados	55
Discusión	62
Agradecimientos	66
Referencias	66

Anexo A	71
Teleósteos	71
Crustáceos	73
Moluscos	74
Parte 2	
Aspectos biológicos	75
Estudio comparativo de la fecundidad del cangrejo rey del Caribe <i>Damithrax spinosissimus</i> (Lamarck, 1818) entre poblaciones insulares oceánicas y continentales del Caribe colombiano	79
<i>Jenny Consuelo Barrera, Néstor Hernando Campos y Ana Milena Lagos</i>	
Introducción	79
Materiales y métodos	81
Resultados	84
Discusión	94
Agradecimientos	101
Referencias	101
Evaluación experimental de loci microsatélites en caracol pala <i>Strombus gigas</i> (Linnaeus, 1758) del Caribe colombiano	111
<i>Edna Judith Márquez Fernández, Juan Aicardo Segura Caro</i> <i>y Natalia Restrepo Escobar</i>	
Introducción	111
Materiales y métodos	112
Resultados	113
Discusión	114
Agradecimientos	115
Referencias	116
Detección de actividades enzimáticas extracelulares de bacterias marinas asociadas al caracol <i>Strombus gigas</i> (Linnaeus, 1758) del mar Caribe colombiano	123
<i>Olga María Pérez Carrascal, Magally Romero-Tabarez,</i> <i>Gloria Ester Cadavid Restrepo, Claudia Ximena Moreno Herrera</i>	
Introducción	123
Materiales y métodos	124
Resultados	129
Discusión	134
Referencias	136

Presentación

La Universidad Nacional de Colombia no ha sido ajena a la necesidad nacional de incrementar nuestro conocimiento científico del mar, por eso ha sido partícipe desde hace varias décadas de los adelantos en la generación de conocimiento marino en Colombia. Consciente de la importancia de divulgar el conocimiento sobre el mar que se genera en cada una de las sedes de la Universidad relacionadas con el medio y bajo el liderazgo del instituto CECIMAR de la sede Caribe, se organiza cada dos años un evento en el cual se presentan los avances de las investigaciones en el campo marino.

La primera reunión interna sobre Ciencias del Mar se realizó en diciembre de 2009 (“La Investigación en Ciencias del Mar de la Universidad Nacional de Colombia – 30 Años de la Biología Marina”), en la sede Caribe de la Universidad. Como producto de esta reunión, se publicó el volumen 14 de la serie Cuadernos del Caribe de la sede. A finales de 2014 se realizó en Bogotá el 4º Seminario: Las Ciencias del Mar en la Universidad Nacional de Colombia; se recopilaron varios trabajos presentados durante el desarrollo del mismo, que no han sido aún publicados en otros medios, y se incluyeron en el presente volumen.

Esperamos que esta contribución aumente la difusión del conocimiento sobre el mar, fruto del quehacer académico dentro de la Universidad, y estimule con ello a investigadores en formación a profundizar en el estudio de la aun vasta riqueza ecosistémica marina colombiana. Solo a partir del conocimiento científico se puede llegar a la protección y adecuado uso de los mares.

Néstor Hernando Campos C.

Arturo Acero P.

Editores

Parte 2

Aspectos biológicos

Evaluación experimental de loci microsatélites en caracol pala *Strombus gigas* (Linnaeus, 1758) del Caribe colombiano

Edna Judith Márquez Fernández, Juan Aicardo Segura Caro y Natalia Restrepo Escobar

Resumen

Los estudios de genética poblacional constituyen un prerrequisito para establecer cuotas de manejo y medidas de preservación de la diversidad genética y de poblaciones viables. Para facilitar el monitoreo de la diversidad genética en poblaciones naturales de caracol pala, el presente trabajo evaluó la utilidad de cebadores que amplifican *loci* microsatélites con el fin de adelantar posteriores estudios genético-poblacionales y de conservación. Los resultados indican que solo un *locus* exhibió Equilibrio Hardy-Weinberg, dos presentaron picos con perfiles complejos de difícil interpretación y cinco mostraron deficiencias significativas de la heterocigosidad. Todos los *loci* evaluados exhibieron entre 9-20 alelos por *locus* y tres exhibieron un ámbito de tamaño de alelos menor a los previamente publicados. El análisis de errores de genotipificación indicó que cinco *loci* podrían presentar alelos nulos. Dadas estas características, el uso de estos cebadores previamente desarrollados para amplificar microsatélites en caracol pala, deben estar acompañados de métodos adecuados para detectar errores de genotipificación y estimadores genéticos especiales que no requieran satisfacer los supuestos del Equilibrio Hardy-Weinberg.

Palabras clave: PCR, Heterocigosidad, Diversidad genética, Errores de genotipificación.

Experimental evaluation of microsatellite loci in Queen Conch *Strombus gigas* (Linnaeus, 1758) from Colombian Caribbean

Abstract

Population genetics studies constitute a basis of fishing management quotas and measures for genetic diversity preservation and viable populations. In order to facilitate the monitoring of genetic diversity in natural stocks of Queen Conch, this work evaluated the usefulness of the primers of *loci* microsatellites with aim to conduce studies of genetics population and conservation. Results show a single *locus* have non-significant deviations from Hardy-Weinberg Equilibrium, two *loci* showed complex peaks with difficult interpretation and five *loci* showed significant deficit of heterozygosity. All *loci* exhibited 9-20 alleles per *locus* and three *loci* had a size range lower than previous published. Analysis of genotyping errors indicated that five *loci* may present null alleles. Due these characteristics, the use of Queen Conch primers, must be accompanied by acute methods in order to detect genotyping errors and special genetic estimators, which not assumptions of Hardy-Weinberg Equilibrium.

Keywords: PCR, Heterozygosity, Genetic diversity, Genotyping errors.

Evaluación experimental de loci microsatélites en caracol pala *Strombus gigas* (Linnaeus, 1758) del Caribe colombiano

Edna Judith Márquez Fernández, Juan Aicardo Segura Caro y Natalia Restrepo Escobar¹

Introducción

El caracol pala (*Strombus gigas*, Linnaeus, 1758) es un molusco marino dioico de gran tamaño de importancia pesquera en el Caribe por el comercio de la carne, la concha (Theile, 2001) y, más recientemente, las perlas (Prada *et al.*, 2009). Debido a la sobreexplotación comercial, fue considerada una especie amenazada a nivel mundial ya que muchas de sus poblaciones han decrecido a menos de un 30% (Theile, 2001, 2005; CITES, 2003). Los estudios de genética poblacional basados en aloenzimas, han mostrado tanto flujo genético como cierto grado de estructuración poblacional en la escala local y regional (Mittton *et al.*, 1989; Campton *et al.*, 1992; Tello *et al.*, 2005), la cual parece explicarse por el escenario oceanográfico. A la fecha también se han desarrollado ocho microsatélites específicos para la especie (Zamora-Bustillos *et al.*, 2007), los cuales han sido utilizados para el análisis genético de poblaciones del atolón Bolívar del Archipiélago de San Andrés y Providencia (Landínez-García *et al.*, 2011) y Yucatán (Zamora-Bustillos *et al.*, 2011).

En los trabajos basados en microsatélites (Zamora-Bustillos *et al.*, 2007, 2011; Landínez-García *et al.*, 2011), se han detectado desviaciones significativas del equilibrio Hardy-Weinberg en varios loci. Esta desviación puede ser un artefacto generado por los pequeños tamaños de muestra, que puede inducir una representación sesgada de heterocigotos de las diferentes clases alélicas. También puede estar relacionado con el diseño de los cebadores que ocasionan problemas de genotipificación de heterocigotos y que provocan la presencia de alelos nulos (Pembererton *et al.*, 1995; Jones *et al.*

1 Laboratorio de Biología Celular y Molecular, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. ejmarque@unal.edu.co

1998; Holm *et al.*, 2001; Pompanon *et al.*, 2005), la preferencia de amplificación del alelo más pequeño (efecto *dropout*, Wattier *et al.*, 1998; Toouli *et al.*, 2000; Björklund, 2005) y de alelos tartamudos (Ewen *et al.*, 2000; Shinde *et al.*, 2003; Hoffman y Amos, 2005); o puede estar relacionado con procesos biológicos que conllevan a deficiencias de heterocigotos, como por ejemplo el efecto Wahlund, endogamia o apareamiento asociativo pueden conducir a un déficit de heterocigosidad (Nei, 1987).

Discriminar cuál de las causas anteriores explica el déficit de heterocigosidad en los *loci* de una población es de vital importancia para obtener información confiable sobre la genética poblacional de especies de interés. En este sentido, la presente investigación evaluó el comportamiento de ocho cebadores previamente desarrollados por Zamora-Bustillos *et al.* (2007) en una muestra de 187 caracoles del Caribe colombiano, con el fin de estimar su utilidad y las limitaciones en estudios genético-poblacionales de *S. gigas*.

Materiales y métodos

Se emplearon 187 muestras de tejido muscular de *Strombus gigas* almacenadas en etanol absoluto a temperatura ambiente hasta su procesamiento en el laboratorio. Cada muestra de tejido de la intersección manto-pie se lavó con agua destilada estéril, se cortó en pequeños trozos de 25 mg de tejido, se maceró en nitrógeno líquido y se extrajo ADN utilizando el estuche comercial QIAGEN “DNeasy® Blood & Tissue”, para purificación de ADN total siguiendo las recomendaciones de los fabricantes (QIAGEN, 2006). La calidad del ADN se determinó por electroforesis en gel de agarosa al 1% a 80 Voltios por 40 minutos, en buffer TBE 0.5X, teñido con bromuro de etidio y visualizado por medio del equipo BiodocAnalyze. La cantidad de ADN extraído se determinó por medición de la absorbancia a 260 y 280 nm en un espectrofotómetro Genesys 6.

Para realizar la amplificación del ADN por PCR, se emplearon los cebadores *Sgig1* (DQ533622), *Sgig2* (DQ533623), *Sgig3* (DQ533624), *Sgig4* (AY707889), *Sgig5* (AY707890), *Sgig6* (AY707891), *Sgig7* (AY707892) y *Sgig8* (DQ923324) y las condiciones de amplificación descritos por Zamora-Bustillos *et al.* para *S. gigas* (2007). Las reacciones de amplificación se llevaron a cabo en un termociclador T3 Biometra®. Se tuvieron en cuenta varias consideraciones para reducir posibles errores de genotipificación (O’Connell

y Wright, 1997; Butler, 2001; Bonin *et al.*, 2004; Selkoe y Toonen, 2006): aumento en el tiempo de extensión final, aumento en temperaturas de apareamiento, uso de una Taq de alta fidelidad, uso de ADN de excelente calidad (pureza, baja contaminación, baja degradación, bien preservado), uso de formamida y bajas concentraciones de magnesio en la mezcla de reacción. Adicionalmente, se contemplaron tiempos adecuados de precalentamiento del gel, temperatura de corrido altas y bajas cantidades de muestra a separar, para evitar errores en el proceso final de genotipificación automática (Fernando *et al.*, 2001). La reproducibilidad fue verificada en la parte experimental preliminar mediante tres repeticiones. Las desviaciones del equilibrio Hardy-Weinberg se estimaron con el método de probabilidad de Fisher descrito por Raymond y Rousset (1995), utilizando el programa GENEPOP 4 (Rousset, 2008). Para detectar posibles errores de genotipificación, las frecuencias alélicas fueron sometidas a análisis con el programa Microchecker (Oosterhout *et al.*, 2005).

Resultados

De los ocho cebadores evaluados, *Ssig5* y *Ssig8* presentaron perfiles complejos aún en presencia de formamida. Los seis loci restantes fueron polimórficos, exhibieron tamaños alélicos en un rango entre 105 y 224 pares de bases, entre 9 a 20 alelos por locus y mostraron déficit de heterocigosidad excepto en *Ssig3* (tabla 1).

Tabla 1. Diversidad genética de seis loci microsatélite para la población de *Strombus gigas* del ARC. N: número de individuos muestreados; Ra: rango de tamaño del alelo en pares de bases, Na: número total de alelos por locus; Ho: heterocigosidad observada; He: heterocigosidad esperada; F: índice de fijación. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$.

Locus	N	Ra	Na	Ho	He	F	P
<i>Ssig1</i> (DQ533622)	182	194 - 224	13	0.555	0.845	0.344	0.000***
<i>Ssig2</i> (DQ533623)	177	112 - 132	10	0.531	0.758	0.300	0.011*
<i>Ssig3</i> (DQ533624)	172	105 - 173	20	0.738	0.905	0.184	0.230 ^{ns}
<i>Ssig4</i> (AY707889)	169	155 - 199	20	0.207	0.923	0.776	0.000***
<i>Ssig6</i> (AY707891)	187	152 - 168	9	0.273	0.667	0.592	0.000***
<i>Ssig7</i> (AY707892)	187	107 - 127	11	0.631	0.674	0.064	0.000***

Los datos analizados bajo el programa Microchecker sugieren que ninguno de los *loci* presenta amplificación preferencial de alelos pequeños (*dropout*, en inglés) y que el *loci* de dinucleótidos *Sgig6* y el complejo di y tetranucleótido *Sgig4* pueden presentar bandas tartamudas (*stutter*, en inglés). También sugiere que cinco de los seis *loci* analizados pueden presentar alelos nulos.

Discusión

De los ocho cebadores evaluados, *Sgig5* y *Sgig8* presentaron perfiles complejos aún en presencia de formamida, la cual se agregó a las mezclas de reacción para prevenir la formación de estructuras secundarias en el ADN molde que condujeran a artefactos de amplificación. Esta complejidad en los perfiles, es concordante con los motivos de repetición de dinucleótidos de ambos *loci*, los cuales son propensos a producir bandas tartamudas (Ewen *et al.*, 2000; Hoffman y Amos, 2005) que dificultan la asignación del alelo verdadero.

Los *loci* microsatélite *Sgig2*, *Sgig3* y *Sgig7* presentaron rangos de tamaño similares a los encontrados por Landínez-García *et al.* (2011) pero menores a los encontrados por Zamora-Bustillos *et al.* (2007; 2011). Debido a la reproducibilidad de los datos encontrados en este trabajo y las condiciones de amplificación, las diferencias podrían deberse a la cantidad de individuos analizados en los tres estudios: 32 (Zamora-Bustillos *et al.*, 2007), 30-40 (Zamora-Bustillos *et al.*, 2011), 187 (este trabajo). Otra explicación alternativa y no excluyente sugiere que las poblaciones del Caribe colombiano presentan nuevas versiones alélicas pero esta posibilidad solo puede contrastarse al comparar las muestras del Caribe colombiano y México.

Los resultados de este trabajo son concordantes con los encontrados por Zamora-Bustillos *et al.* (2007, 2011) y Landínez-García *et al.* (2011), en los siguientes aspectos: (1) el *locus* *Sgig3* no mostró desviaciones del Equilibrio Hardy-Weinberg y (2) los *loci* *Sgig1*, *Sgig6*, *Sgig7* exhibieron déficit de heterocigosidad. En contraste con los trabajos de Zamora-Bustillos *et al.* (2007, 2011), los *loci* *Sgig2* y *Sgig4* mostraron deficiencias significativas de heterocigotos, corroborando los resultados de Landínez-García *et al.* (2011). El análisis de Microchecker indica que el déficit de heterocigosidad en los diferentes *loci* de este trabajo no puede ser explicado por la amplificación preferencial de alelos pequeños, ni por la presencia de bandas tartamudas (excepto en los *loci* *Sgig4* y *Sgig 6*), sino por la presencia de alelos nulos. Sin embargo, debido a que estos cebadores tuvieron la habilidad de amplificar

un alto número de alelos por *locus* (9 a 20), lo cual permitiría visualizar los respectivos heterocigotos; no es razonable pensar que el déficit de heterocigosidad se deba únicamente a la presencia de alelos nulos.

La anterior explicación está apoyada por la observación de que todos los *loci* analizados (excepto uno) exhibieron déficit de heterocigotos, lo cual sugiere que la población evaluada probablemente no es panmíctica. Adicionalmente, otro estudio genético de *Strombus gigas* basado en aloenzimas también evidenció déficit de la heterocigosidad (Tello *et al.*, 2005), sugiriendo que los resultados no pueden atribuirse exclusivamente a problemas técnicos relacionados con el tipo de marcador utilizado. En realidad, este déficit parece ser un rasgo común en especies marinas invertebradas (Ball y Chapman, 2003; Sato *et al.*, 2005; Tello *et al.*, 2005; Pérez *et al.*, 2006b) y vertebradas (Ovenden y Street, 2003; Takagi *et al.*, 2003; Clark *et al.*, 2004; O'Reilly *et al.*, 2004; Ovenden *et al.*, 2004; Pérez *et al.*, 2006a; Ospina-Guerrero *et al.*, 2008; Landínez-García *et al.*, 2009, 2011).

En este contexto, seis de los cebadores microsátélites previamente publicados por Zamora-Bustillos *et al.* (2007), podrían ser utilizados en estudios genético-poblacionales de caracol pala, teniendo el cuidado de utilizar aproximaciones adecuadas para detectar errores de genotipificación y para el análisis de marcadores que no cumplen con los supuestos del Equilibrio Hardy-Weinberg (Excoffier *et al.*, 1992; Dunpaloup *et al.*, 2002; Holsinger y Wallace, 2004). El reto próximo para el análisis genético-poblacional de especies no modelo como caracol pala, es el desarrollo de marcadores moleculares basados en microsátélites y/o ADN mitocondrial utilizando técnicas de secuenciación de nueva generación.

Agradecimientos

A la expedición científica interinstitucional “Recuperación del caracol pala *S. gigas* en los atolones del norte en el AMP Seaflower, Archipiélago de San Andrés” por las colecciones de *S. gigas* de las poblaciones insulares. Esta investigación se realizó bajo el permiso de acceso a recursos genéticos emitido por el Ministerio Colombiano de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.²

2 Número 18 del 8 de julio de 2008, financiado por Colciencias Proyecto No. 111809-17772, contrato: 212-2005 y el Posgrado de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellín.

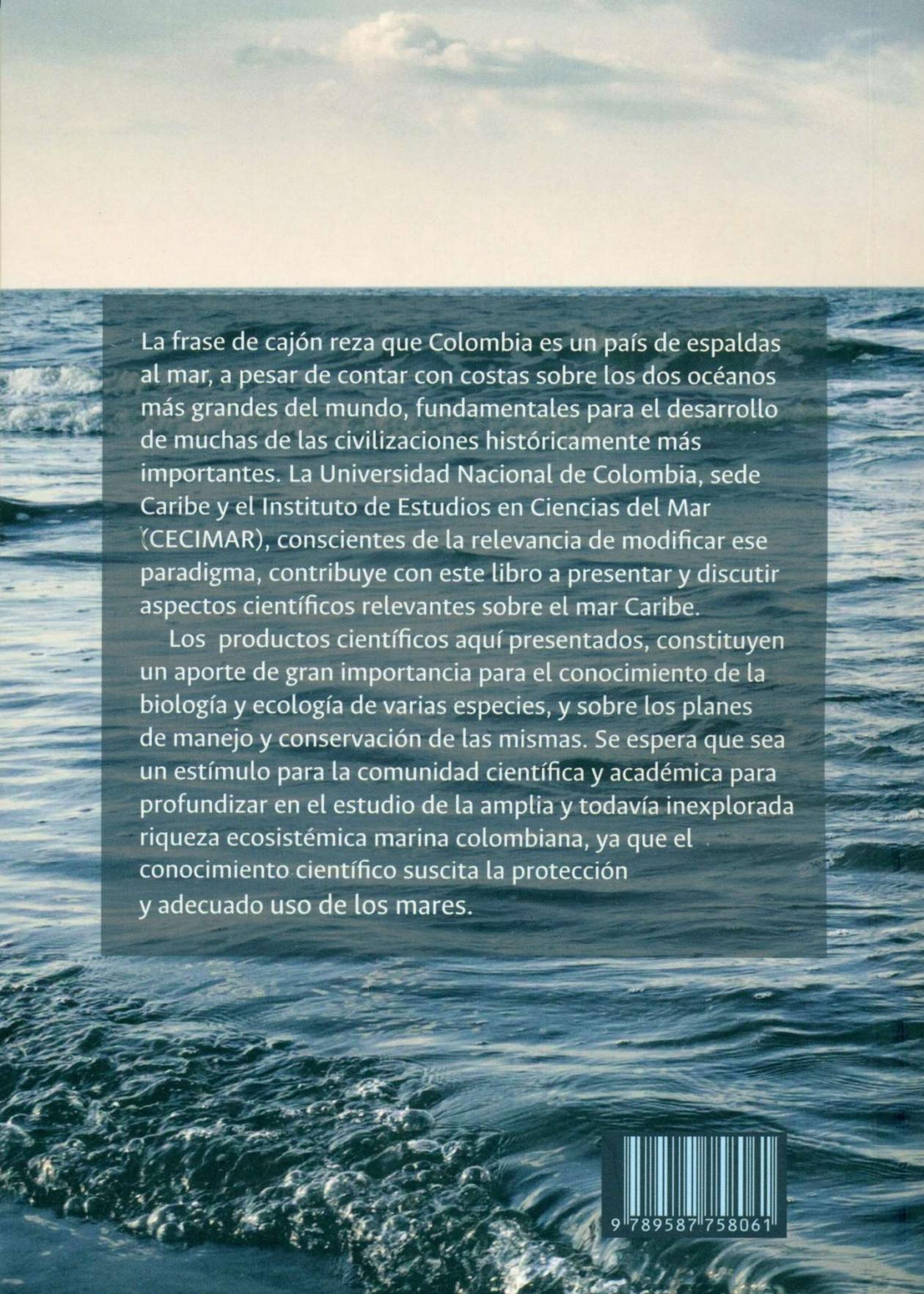
Referencias

- Ball, A. O. y Chapman, R. W. (2003). Population genetic analysis of white shrimp, *Litopenaeus setiferus*, using microsatellite genetic markers. *Mol. Ecol.*, *12*, 2319–2330.
- Björklund, M. A. (2005). Method for adjusting allele frequencies in the case of microsatellite allele drop-out. *Mol. Ecol. Notes*, *5*, 676–679.
- Bonin, A., Bellemain, E., Bronken Eidesen, P., Pompanon, F., Brochmann, C. y Taberlet, P. (2004). How to track and assess genotyping errors in population genetics studies. *Mol. Ecol.*, *13*, 3261–3273.
- Butler, J. (2001). *Forensic DNA typing: Biology & technology behind STR markers.*, EE.UU: Academic Press.
- Campton, D. E., Berg, C. J., Robison, L. M. y Glazer, R. A. (1992). Genetic patchiness among populations of queen conch (*Strombus gigas*) in the Florida Keys and Bimini. *Fish. Bull.*, *90*, 250–259.
- Clark, T. B., Saillant, L. M. y Gold, J. R. (2004). Microsatellite DNA markers for population-genetic studies of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus thynnus*) and other species of genus *Thunnus*. *Mol. Ecol. Notes*, *4*, 70–73. doi:10.1046/j.1471-8286.2003.00572.x
- CITES (Convention on International Trade in Endangered Species). (2003). *Strombus gigas* (Queen Conch). Species report document no. AC19 (Doc. 8.3). Nineteenth meeting of the Animals. Committee, Geneva, Suiza. 18–21.
- Dupanloup, I., Schneider, S. y Excoffier, L. (2002). A simulated annealing approach to define the genetic structure of populations. *Mol. Ecol.*, *11*, 2571–2581.
- Ewen, K. R., Bahlo, M., Treloar, S. A., Levinson, D. F., Mowry, B., Barlow, J. W. y Foote, S. J. (2000). Identification and analysis of error types in high-throughput genotyping. *Am. J. Human Gen.*, *67*: 727–736.
- Excoffier, L., Smouse, P. E. y Quattro, J. M. (1992). Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: Application to human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics*, *131*, 479–491.
- Fernando, P., Evans, B. J., Morales, J. C. y Melnick, D. J. (2001). Electrophoresis artefacts: A previously unrecognized cause of error in microsatellite analysis. *Mol. Ecol. Notes*, *1*, 325–328.
- Hoffman, J. I. y Amos, W. (2005). Microsatellite genotyping errors: detection approaches, common sources and consequences for paternal exclusion. *Mol. Ecol.*, *1*: 599–612.
- Holm, L. E., Loeschcke, V. y Bendixen, C. (2001). Elucidation of the molecular basis of a null allele in a rainbow trout microsatellite. *Mar. Biotechnol.*, *3*: 555–60.

- Holsinger, K. E. y Wallace, L. E. (2004). Bayesian approaches for the analysis of population genetic structure: an example from *Platanthera leucophaea* (Orchidaceae). *Mol. Ecol.*, 13: 887–894.
- Jones, A. G., Stockwell, C. A., Walker, D. y Avise, J. C. (1998). The molecular basis of a microsatellite null allele from the White Sands pupfish. *J. Her.*, 89, 339–342.
- Landínez-García, R. M., Ospina-Guerrero, S. P., Rodríguez, D. J., Arango, R. y Márquez, E. J. (2009). Genetic analysis of *Lutjanus synagris* populations in the Colombian Caribbean. *Cienc. Mar.*, 35(4), 321–331.
- Landínez-García, R. M., Rangel-Medrano, J. D., Castro-González, E. R. y Márquez, E. (2011). Variación genética temporal del caracol pala (*Strombus gigas*) en el atolón Bolívar, Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. *Cuadernos Caribe*, 14, 75–82.
- Mitton J. B., Berg, C. J. y Orr, K. S. (1989). Population structure, larval dispersal, and gene flow in the queen conch, *Strombus gigas*, of the Caribbean. *Biol. Bull.*, 177, 356–362.
- Nei, M. (1987). *Molecular evolutionary genetics*. Nueva York: Columbia University Press.
- O’Connell, M. y Wright, J. M. (1997). Microsatellite DNA in fishes. *Rev. Fish Biol. Fish.*, 7, 331–363.
- Oosterhout, C. Hutchinson, W., Willis, D. y Shipley, P. (2004). Micro Checker: software for identifying and correcting genotyping errors in microsatellite data. *Mol. Ecol. Notes*, 4, 535–538.
- Ospina-Guerrero, S. P., Landínez-García, R. M., Rodríguez-Castro, D. J., Arango, R. y Márquez, E. J. (2008). Genetic connectivity of *Stegastes partitus* in the South Caribbean evidenced by microsatellite analysis. *Cienc. Mar.*, 34(2), 155–163.
- O’Reilly, P. T., Canino, M. F., Bailey, K. y Bentzen, M. P. (2004). Inverse relationship between FST and microsatellite polymorphism in the marine fish, walleye pollock (*Theragra chalcogramma*): Implications for resolving weak population structure. *Mol. Ecol.*, 13, 1799–1814. doi:10.1111/j.1365-294X.2004.02214.x
- Ovenden, J. R., Salini, J., O’Connor, S. y Street, R. (2004). Pronounced genetic population structure in a potentially vagile fish species (*Pristipomoides multidens*, Teleostei; Perciformes; Lutjanidae) from the East Indies Triangle. *Mol. Ecol.*, 13, 1991–1999. doi:10.1111/j.1365-294X.2004.02210.x
- Ovenden, J. R. y Street, R. (2003). Genetic population structure of mangrove jack, *Lutjanus argentimaculatus* (Forsskal). *Mar. Freshw. Res.*, 54, 127–137. doi:10.1071/MF02142
- Pemberton, J. M., Slate, J., Bancroft, D. R., y Barrett, J. A. (1995). Nonamplifying alleles at microsatellite loci – a caution for parentage and population studies. *Mol. Ecol.*, 4, 249–252.

- Pérez, Á., González, M., Lenfant, P., Concepción, M. y García, J. A. (2006a). Effects of fishing protection on the genetic structure of fish populations. *Biol. Conserv.*, 29, 244–255.
- Pérez, R., Durán, S., Estoup, A. y Turon, X. (2006b). Polymorphic microsatellite loci isolated from the atlanto-mediterranean colonial ascidian *Pycnoclavela* sp. (Ascidiacea, Tunicata). *Mol. Ecol. Notes*, 6: 516–520. doi:10.1111/j.1471-8286.2006.01304.x
- Pompanon, F.A., Bonin y Taberlet, P. (2005). Genotyping errors: causes, consequences and solutions. *Nat. Rev. Gen.*, 6, 847–859.
- Prada, M., Taylor, E., Appeldoorn, R. y Daves, N. (2009). Non detriment findings for the Queen Conch in Colombia. NOAA Fisheries-Blue Dream Ltd (Eds). San Andres island.
- QIAGEN. (2006). DNeasy Blood & Tissue Handbook. Recuperado de: http://www1.qiagen.com/HB/DNeasyBloodTissueKit_EN_02/10/2008
- Raymond, M y Rousset, F. (1995). An exact test for population differentiation. *Evolution*, 49, 1280–1283.
- Rousset, F. (2008). GENEPOP 007: a complete re-implementation of the GENEPOP software for Windows and Linux. *Mol. Ecol. Resour.*, 8, 103–106.
- Sato, M., Kawamata, K., Zaslavskaya, N., Nakamura, A., Ohta, T., Nishikiori, T., Brykov, V. y Nagashima, K. (2005). Development of microsatellite markers for Japanese scallop (*Mizuhopecten yessoensis*) and their application to a population genetic study. *Mar. Biotechnol.*, 7, 713–728.
- Selkoe, K. A. y Toonen, R. J. (2006). Microsatellites for ecologists: A practical guide to using and evaluating microsatellite markers. *Ecol. Lett.*, 9, 615–629.
- Shinde, D., Yinglei, L., Fengzhu, S. y Arnheim, N. (2003). Taq DNA polymerase slippage mutation rates measured by PCR and quasi-likelihood analysis: (CA/GT) and (A/T)_n microsatellites. *Nucleic Acids Res.*, 31, 974–980.
- Takagi, M., Chow, S., Okamura, T., Scholey, V., Nakazawa, A., Margules, D. Wexler, J. B. y Taniguchi, N. (2003). Mendelian inheritance and variation of four microsatellite DNA markers in the yellowfin tuna *Thunnus albacares*. *Fish. Sci.*, 69, 1306–1308. doi:10.1111/j.0919-9268.2003.00761.x
- Tello, J. A., Rodríguez, L. A. y Rodríguez, F. (2005). Genética poblacional del caracol rosado *Strombus gigas* en la península de Yucatán implicaciones para su manejo y pesquería. *Cienc. Mar.*, 31(2), 379–386.
- Theile, S. (2001). Queen conch fisheries and their management in the Caribbean. Technical report to the CITES Secretariat. TRAFFIC Europe, Bruselas, Bélgica.
- Theile, S. (2005). Status of the Queen Conch *Strombus gigas* stocks, management and trade in the Caribbean: A CITES Review. *Proc. Gulf Carib. Fish. Inst.*, 56, 675–696.

- Toouli, C. D., Turner, D. R., Grist, S. A. y Morley, A. A. (2000). The effect of cycle number and target size on polymerase chain reaction amplification of polymorphic repetitive sequences. *Anal. Biochem.*, 280, 324–326.
- Wattier, R., Engel, C. R., Saumitou-Laprade, P. y Valero, M. (1998). Short allele dominance as a source of heterozygote deficiency at microsatellite loci: experimental evidence at the dinucleotide locus Gv1CT in *Gracilaria gracilis* (Rhodophyta). *Mol. Ecol.*, 7: 1569–1573.
- Zamora-Bustillos, R., Rodríguez-Canul, R. y García de León, F. (2007). Isolation and characterization of eight polymorphic microsatellite markers from pink conch (*Strombus gigas*). *Mol. Ecol. Notes*, 7: 597–599.
- Zamora-Bustillos, R., Rodríguez-Canul, R., García de León, F. y Tello, J. (2011). Diversidad genética de dos poblaciones del caracol *Strombus gigas* (Gastropoda:Strombidae) en Yucatán, México, con microsatélite. *Rev. Biol. Trop.*, 59(3): 1127–1134.



La frase de cajón reza que Colombia es un país de espaldas al mar, a pesar de contar con costas sobre los dos océanos más grandes del mundo, fundamentales para el desarrollo de muchas de las civilizaciones históricamente más importantes. La Universidad Nacional de Colombia, sede Caribe y el Instituto de Estudios en Ciencias del Mar (CECIMAR), conscientes de la relevancia de modificar ese paradigma, contribuye con este libro a presentar y discutir aspectos científicos relevantes sobre el mar Caribe.

Los productos científicos aquí presentados, constituyen un aporte de gran importancia para el conocimiento de la biología y ecología de varias especies, y sobre los planes de manejo y conservación de las mismas. Se espera que sea un estímulo para la comunidad científica y académica para profundizar en el estudio de la amplia y todavía inexplorada riqueza ecosistémica marina colombiana, ya que el conocimiento científico suscita la protección y adecuado uso de los mares.



9 789587 758061