



EL PEPINO DE MAR, *Isostichopus fuscus*, RECURSO MARINO EN PELIGRO CON ALTAS NECESIDADES DE MANEJO

Carlos Vergara-Chen^{1,3}, Zedna Guerra², Gustavo Nelson Collado²

¹Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología (INDICASAT-AIP), Apartado 0843-01103 Panamá, Panamá.

²Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá, Estación de Maricultura del Pacífico, Apartado 0819-05850, Panamá, Panamá.

³E-mail: vergara.chen@gmail.com

RESUMEN

El pepino de mar (*Isostichopus fuscus*) es un equinodermo holoturoideo que habita sobre fondos rocosos y arrecifes de coral a lo largo del Pacífico Oriental Tropical. En Panamá, no existe una cultura para su consumo, sin embargo, al tener alta demanda en países asiáticos, es un recurso pesquero alternativo que requiere medidas de manejo y conservación. A la fecha, sólo se conocen para el país aspectos taxonómicos y de distribución. Existen informes de extracción ilegal de *I. fuscus* y otras especies de pepino de mar en las islas de Las Perlas y Coiba. Entre 2004 y 2005 se exportaron 689 kg de peso seco de pepino de mar a Hong Kong China desde Panamá. La sobreexplotación y pérdida del hábitat son sus principales amenazas. A nivel regional, se ha establecido a esta especie, de acuerdo con los criterios de la Lista Roja de la UICN, como en peligro de extinción. Ante el creciente interés por la explotación del pepino de mar se hace necesaria la evaluación de la biología básica de sus poblaciones locales, cuyo conocimiento y comprensión son necesarios para la gestión pesquera y el desarrollo de técnicas de reproducción y cultivo. Esta revisión tiene como propósito integrar y analizar la información biológica disponible de *I. fuscus*, y se propone usar este conocimiento en el desarrollo y fortalecimiento de las capacidades para el fomento de la gestión del recurso, la promoción del cumplimiento de la legislación existente para su protección, y el logro de una percepción práctica de la biología en el ordenamiento y conservación del pepino de mar en Panamá.

PALABRAS CLAVES

Isostichopus fuscus, ecosistema bentónico, invertebrados marinos, gestión pesquera, acuicultura, genética de poblaciones.

THE SEA CUCUMBER, *Isostichopus fuscus*, AN ENDANGERED MARINE RESOURCE WITH HIGH MANAGEMENT NEEDS

ABSTRACT

The sea cucumber (*Isostichopus fuscus*) is a holothurian echinoderm which inhabits on rocky bottoms and coral reefs along the Tropical Eastern Pacific. In Panama, there is no culture for its consumption; however, there is a high demand in Asian countries. Therefore it is an alternative fishery resource that requires conservation and management strategies. To date, the biology of this species remain poorly understood and there is only information on its taxonomic and geographical distribution. There are reports of illegal extraction *I. fuscus* and other sea cucumber species from Las Perlas and Coiba islands. Between 2004 and 2005, 689 kg of sea cucumber were exported from Panama to Hong Kong China. Overexploitation and habitat loss are the main threats. At the regional level, this species has been declared as an endangered species according to the criteria of the IUCN Red List. Given the growing interest in the exploitation of sea cucumbers, it is relevant to evaluate the basic biology of local populations, needed information that is needed for fisheries management and aquaculture development. This review aims to integrate and analyze the available biological information for *I. fuscus*, in order to develop and strengthen capacities for promoting resource management, enforcement of existing legislation for their protection, and achieving a practical perception of biology in the management and conservation of sea cucumbers in Panama.

KEY WORDS

Isostichopus fuscus, benthic ecosystem, marine invertebrates, fisheries management, aquaculture, population genetics.

INTRODUCCIÓN

El pepino de mar, *Isostichopus fuscus* (Ludwig, 1875), es un equinodermo holoturoideo (Aspidochirotida: Stichopodidae) distribuido a lo largo de las costas rocosas y arrecifes coralinos del Pacífico Oriental Tropical (Fig. 1) (Solís-Marín *et al.*, 2009; Purcell *et al.*, 2012). Los pepinos de mar son organismos detritívoros que contribuyen a la descomposición de la materia orgánica y al ciclo de nutrientes en los ecosistemas bentónicos (Sambrano *et al.*, 1990; Conde *et al.*, 1991). En general, la especie alcanza tallas adultas entre 19 y 25 cm, no presenta dimorfismo sexual externo (Fajardo-León *et al.*, 1995; Toral-Granda & Martínez, 2007) y como otros holotúridos, su reproducción se caracteriza por el desove masivo de gametos seguido de un período larvario pelágico (Herrero-Pérezrul *et al.*, 1999). Forma

parte de los recursos marinos explotados de México y Ecuador en donde es capturado activamente. Su alta demanda y su alto precio en el mercado asiático, han impulsado un aumento del esfuerzo pesquero y, en algunos casos, ha puesto en peligro sus poblaciones (Hearn *et al.*, 2005; Wolff *et al.*, 2012).



Fig. 1. Ejemplares del pepino de mar, *Isostichopus fuscus* (Ludwig, 1875) (Echinodermata: Holothuroidea) recolectados en Panamá. A) Vista dorsal y B) vista ventral. Es un organismo estenohalino de tamaño grande (300g hasta más de 1 kg de peso). Su cuerpo es cilíndrico, con pies ambulacrales y cinco tentáculos bucales. La textura de su piel es suave y posee pequeñas papilas en la parte dorsal del cuerpo. Su fase larvaria pelágica tiene una duración de 2-3 semanas y los adultos presentan baja movilidad. Tiene importancia pesquera por su valor en los mercados asiáticos. Es un especie amenazada incluida en la lista de CITES. Fotos: Zedna Guerra.

En Panamá, esta especie se distribuye a lo largo de la costa Pacífica (Alvarado *et al.*, 2010, 2012) con densidades que fluctúan entre 0.01-0.02 individuos m^{-2} principalmente en las islas del Golfo de Chiriquí (Alvarado *et al.*, 2012). La especie se extrae ilegalmente en las islas de Las Perlas y Coiba, documentándose la exportación de 689 kg de peso seco de pepino de mar a Hong Kong China entre los años 2004 y 2005 (Torral-Granda, 2008). Sin embargo, a esta importancia económica, es poco lo que se conoce de otros aspectos, la estacionalidad del ciclo reproductivo, la distribución espacial, estructura de población, su crecimiento, tasa de supervivencia y la

conectividad poblacional de esta especie. Además, aunque existen algunos valores de volúmenes de captura (Toral-Granda, 2008), la información oficial sobre las pesquerías no existe o es difícil de obtener. Por otra parte, como recurso pesquero alternativo, la acuicultura del pepino de mar en Panamá bien podría ser objeto de desarrollo a mediano plazo y requiere de datos sobre su biología básica. La escasa información local que se tiene sobre aspectos biológicos y ecológicos, situación actual de las capturas, amenazas, y el aporte que puede entregar la genética de poblaciones a la gestión de este recurso motivaron esta revisión, hecha con el objetivo de integrar y analizar la información disponible de *I. fuscus* como una primera aproximación hacia la gestión de su pesquería en Panamá.

HÁBITAT, ECOLOGÍA Y BIOLOGÍA

Isostichopus fuscus es un invertebrado bentónico ampliamente distribuido desde Baja California hasta Ecuador continental, las islas Galápagos, Coco, Malpelo, Revillagigedo y Lobos de Afuera (Maluf, 1991; Hooker *et al.*, 2005; Solís-Marín *et al.*, 2009) (Fig. 2). Habita en la zona costera desde el submareal somero hasta los 40 m de profundidad (Maluf, 1991) sobre fondos rocosos o arrecifes coralinos (Herrero-Pérezrul *et al.*, 1999, Toral-Granda & Martínez, 2007). Aunque no hay estudios en la región sobre su alimentación natural, al igual que otros pepinos de mar es un organismo detritívoro que se alimenta de material depositado o sedimentos lo que promueve cambios substanciales en los ecosistemas bentónicos por la ingestión intensiva y selectiva de la capa superficial del sedimento, y por el enriquecimiento ambiental que producen sus deposiciones (Sambrano *et al.*, 1990; Conde *et al.*, 1991). Durante este proceso se incrementa la interfaz agua-sedimento que facilita el intercambio de partículas entre el sedimento y la columna de agua (Conde *et al.*, 1991). Por ejemplo, en los arrecifes de coral, los pepinos de mar son capaces de digerir aproximadamente 4,600 kg peso seco año⁻¹ 1,000 m⁻² (Uthicke, 1999), jugando así un importante papel en el reciclaje de nutrientes en entornos oligotróficos en los que los nutrientes de otro modo permanecerían atrapados en el sedimento (Uthicke, 2001).

Isostichopus fuscus es una especie dioica, aunque es común la presencia de hermafroditas en sus poblaciones (Herrero-Pérezrul *et al.*,

1998). Se reproduce anualmente entre julio y septiembre. El ciclo reproductivo se encuentra relacionado a las variaciones en la temperatura superficial del mar, coincidiendo el desove cuando las temperaturas son más altas (27°C) (Herrero-Pérezrul *et al.*, 1999). No existe dimorfismo sexual externo y las gónadas pueden ser identificadas cuando se encuentran maduras, ya que adquieren una coloración brillante. En *I. fuscus* los ovocitos alcanzan una talla máxima de 100 µm de diámetro, mientras que los espermatozoides miden menos de 3 µm (Fajardo León *et al.*, 1995; Herrero-Pérezrul *et al.*, 1999). La proporción de sexos no difiere significativamente de 1:1. En Ecuador, desova todos los meses entre uno y cuatro días después de la luna nueva (Mercier *et al.*, 2007). En Baja California, tiene una temporada de reproducción anual influenciada por el aumento de la temperatura del agua. En Galápagos es más activa durante la noche (Torral-Granda, 2008). Esta especie alcanza la madurez sexual a los 21 cm (Herrero-Pérezrul *et al.*, 1999; Herrero-Pérezrul & Reyes-Bonilla, 2008). Su periodo larvario es 22-27 días alcanzando 3.5 cm en 72 días (Hamel *et al.*, 2003) y alrededor de 8 cm en 110 días (Mercier *et al.*, 2004) (Fig. 3).



Fig. 2. Distribución geográfica del pepino de mar chocolate *Isostichopus fuscus* (Ludwig, 1875) (Echinodermata: Holothuroidea). Habita en la zona costera desde el submareal somero hasta los 40 m de profundidad sobre fondos rocosos o arrecifes coralinos a lo largo del Pacífico Oriental Tropical.

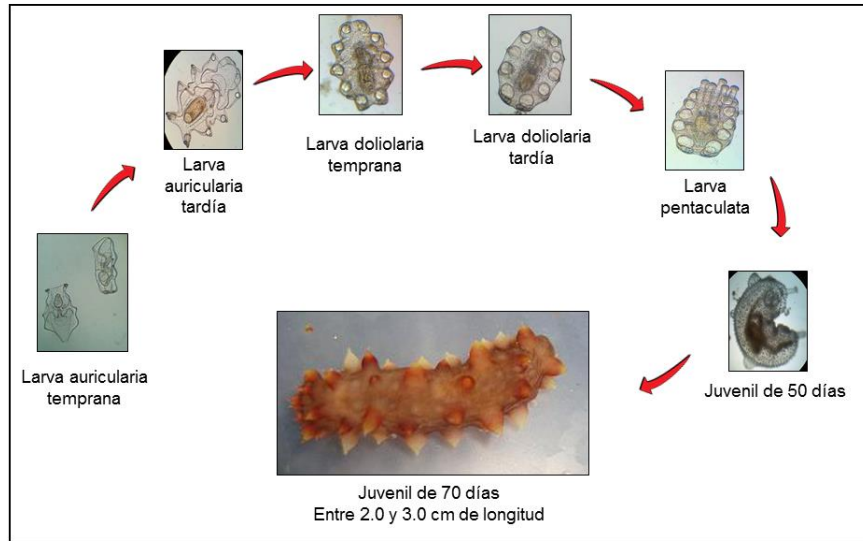


Fig. 3. Ciclo de vida del pepino de mar chocolate *Isostichopus fuscus* (Ludwig, 1875) (Echinodermata: Holothuroidea). Fotos: Zedna Guerra.

Toda la información mencionada en el apartado anterior es útil y valiosa para llevar cabo comparaciones con los aspectos biológicos de las poblaciones de *I. fuscus*, no obstante, se carece de información sobre la abundancia, estructura de población, distribución espacial y ciclos reproductivos de esta especie en el Pacífico de Panamá. Lo poco que se conoce en el país acerca de este organismo se basa principalmente en aspectos taxonómicos y de distribución geográfica (Alvarado *et al.*, 2010, 2012; Coppard & Alvarado, 2013). De este modo, la recopilación de datos sobre la biología básica de esta especie es necesaria tanto para identificar y comprender cuáles factores ambientales y biológicos determinan su estructura y dinámica poblacional, como para lograr una gestión adecuada del recurso a nivel local en Panamá.

IMPORTANCIA COMERCIAL Y AMENAZAS

En Panamá y en la mayoría de los países occidentales no se consumen pepinos de mar, sin embargo, en Asia son un platillo exquisito dentro de su gastronomía y están a punto de entrar en un estado de sobreexplotación irreversible. Por ejemplo, China importa pepinos de mar de Indonesia, Papúa Nueva Guinea y Filipinas, incluso se exportan desde Ecuador y desde Terranova en Canadá (Toral-Granda *et al.*, 2008). *Isostichopus fuscus* es también considerado la especie de pepino de mar comercial más relevante del continente americano (Jenkins & Mulliken, 1999). Cerca de 2,000 toneladas de *I. fuscus* fueron exportadas a los países asiáticos, con ganancias por encima de los dos millones de dólares entre 1989 y 1993 (Espinoza *et al.*, 2001) y actividades pesqueras que benefician a muchas familias en México, Costa Rica y Ecuador (Jenkins & Mulliken, 1999).

Existen informes de actividades pesqueras ilegales e incautaciones de capturas de *I. fuscus* y otras especies de pepino de mar (Fig. 4) desarrollándose en las islas de Las Perlas y Coiba (Toral-Granda, 2008). Además, existe explotación de manera furtiva de las siguientes especies de pepinos de mar en el Caribe panameño: *Actinopyga agassizi*, *H. (H.) mexicana*, *A. multifidus* y *I. badionatus* (Toral-Granda, 2008). Hay que destacar que la pesca de pepinos de mar está prohibida en toda la República de Panamá mediante el Decreto Ejecutivo 157-2003 (Ministerio de la Presidencia, 2004) y el Decreto Ejecutivo 217-2009 (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, 2010) que establecen veda de extracción, posesión y comercialización de este organismo marino, con el objetivo de lograr la recuperación del recurso (ARAP, 2012). En este contexto, los gestores deben estar muy conscientes de que una moratoria (veda pesquera) pone en evidencia la insuficiencia de las estrategias de gestión en el pasado, o la aplicación de la ley, y una responsabilidad para desarrollar acercamientos diferentes para evitar un nuevo agotamiento de la población una vez que se levanta la moratoria (Purcell *et al.*, 2010). Para las especies de pepinos de mar es de máxima prioridad determinar la cantidad máxima de capturas por unidad de esfuerzo sobre la base de las estimaciones del tamaño de la población y comparar las poblaciones explotadas y protegidas para evaluar con precisión los efectos de la presión pesquera (González-Wangüemert *et al.*, 2014). El establecimiento de una pesca responsable de *I. fuscus* en el Pacífico de Panamá ofrece una

buena oportunidad para establecer un marco de manejo pesquero basado en la mejor información científica disponible, si realmente esta pesquería es factible y sus poblaciones pueden mantenerse. La recopilación de datos biológico - pesqueros para lograr un manejo ordenado, precautorio y un aprovechamiento sostenible puede enfocarse en la determinación del ciclo reproductivo y madurez sexual, historias de vida, la estructura de la población, la estimación de la biomasa, modelado cuantitativo de la dinámica poblacional, estimación de la conectividad y flujo génico, y aspectos socioeconómicos de la pesquería.



Fig. 4. Algunos informes de incautaciones de capturas ilegales de pepinos de mar registradas en medios locales de prensa escrita de Panamá.

Ante la crisis actual de las pesquerías de pepino de mar, se hace necesario el desarrollo de técnicas de reproducción y cría para el aprovechamiento y conservación del recurso. De este modo, la acuicultura podría proveer un método para ayudar a restaurar poblaciones naturales si se realiza correctamente. En general, los estudios realizados sobre desove, fertilización, cría de larvas, manejo de enfermedades y crecimiento de juveniles han demostrado que *I.*

fuscus se puede criar en cautividad (Hamel *et al.*, 2003; Mercier *et al.*, 2004, 2012; Purcell *et al.*, 2012). En Panamá, a través de ensayos de adaptación al cautiverio con individuos salvajes de *I. fuscus* se han recabado datos sobre comportamiento, crecimiento y mortalidad en medio controlado, con la finalidad de desarrollar alternativas y soluciones técnicas para el desarrollo del cultivo y repoblación a favor de las poblaciones silvestres de este recurso (ARAP, 2013). Los resultados preliminares indican que *I. fuscus* es resistente al manejo y transporte, pero muy selectivo en la alimentación. Se han ensayado varios tipos de dietas y raciones diarias para definir cuál es la más adecuada al organismo en cautiverio, y se resalta la importancia de un control óptimo de la calidad del agua para reducir la incidencia de enfermedades bacterianas (ARAP, 2013).

A nivel mundial, la sobrepesca, la pérdida o degradación del hábitat por eutrofización de las aguas en zonas de desarrollo costero y la recolección de adultos maduros para su uso como reproductores en acuicultura son las principales amenazas antropogénicas para los pepinos de mar (Toral-Granda *et al.*, 2008; Mercier *et al.*, 2013). La revisión del estado de la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés) revela que *I. fuscus* se encuentra clasificado como especie en peligro (Mercier *et al.*, 2013). Esto está justificado por las importantes reducciones de sus poblaciones en varias localidades a lo largo de su ámbito de distribución. El área de mayor densidad conocida para esta especie, las Islas Galápagos, ha tenido una reducción poblacional del orden del 80%. Hay evidencia de agotamiento del recurso en las costas continentales de Ecuador y México. Fuera de las Galápagos, las densidades son bajas, posiblemente debido a las capturas ilegales históricamente altas. La disminución poblacional en todo el rango de esta especie se calcula en al menos 60% en los últimos 30-50 años (Mercier *et al.*, 2013).

GENÉTICA DE POBLACIONES Y GESTIÓN PESQUERA

La definición de la escala de la conectividad, o el flujo génico, entre las poblaciones marinas y los factores que impulsan este cambio son fundamentales para nuestra comprensión de la dinámica de las poblaciones, la estructura genética y la biogeografía de muchas

especies costeras (Cowen *et al.*, 2006; von der Heyden *et al.*, 2014). La comprensión de la conectividad de las poblaciones de pepinos de mar es vital para su conservación y el manejo de sus pesquerías, y la estimación de su conectividad depende de la magnitud de la variación genética en el espacio. El conocimiento sobre la conectividad de las poblaciones marinas es probable que se pueda obtener sólo a través de esfuerzos multidisciplinarios e integrados, en los cuales los métodos genéticos pueden y debe jugar un papel importante (Hedgecock, 2007). De este modo, es necesario tener un conocimiento genético y ecológico adecuado sobre las poblaciones de pepino de mar. Muchas especies marinas, incluyendo los holotúridos, se supone que tienen una elevada capacidad de dispersión a través de su rango geográfico durante sus fases larvarias planctónicas, favorecida por las corrientes oceanográficas (Féral, 2002). Por otra parte, dado que actualmente los hábitats de las especies costeras son raramente continuos, la diversidad genética heterogénea puede ser generada por factores ambientales (e.g. corrientes y barreras físicas) y factores biológicos (e.g. comportamiento reproductivo) (Féral, 2002). En este contexto, la genética de poblaciones ha contribuido a mejorar el conocimiento sobre la estructura de poblaciones de distintas especies de pepinos de mar. Los análisis con alozimas han sido métodos muy comunes usados para determinar los niveles de variación y el grado de subdivisión genética para algunas especies (Uthicke & Benzie, 2000, 2001; Gharbi & Said, 2011), sin embargo, el uso de secuencias de ADN mitocondrial (Uthicke & Benzie, 2003; Vergara-Chen *et al.*, 2010) y marcadores nucleares como los microsatélites (Kanno *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2008; Chang *et al.*, 2009) han revelado más variabilidad que las alozimas. Algunos de estos trabajos informan diferencias geográficas en las frecuencias alélicas en las poblaciones de algunas especies (Kanno *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2008; Vergara-Chen *et al.*, 2010; Gharbi & Said, 2011; Kang *et al.*, 2011).

Como ha sido mencionado previamente, algunos aspectos sobre la biología de *I. fuscus* han sido estudiados para poblaciones en las costas de Baja California Sur y las Islas Galápagos, lamentablemente, poco se sabe sobre la genética de sus poblaciones y solo existe un trabajo con datos sobre el flujo génico entre poblaciones naturales aisladas a través de su rango de distribución en el Pacífico oriental (Lohr, 2003). Este estudio informa el nivel de conectividad genética presente entre las Islas Galápagos y otras poblaciones de *I. fuscus* en Ecuador continental

y el Golfo de California. Se demostró claramente las similitudes genéticas entre las poblaciones de Galápagos y Ecuador y niveles elevados de flujo génico que sugieren procesos exitosos de dispersión larval entre el continente y las islas. Se desconoce si este intercambio larvario se está produciendo de forma continua, de manera esporádica, o sólo durante los últimos años (Lohr, 2003). No hay evidencia de aislamiento de las poblaciones de esta especie en las Galápagos, sin embargo, esto no implica que la sobrepesca local está siendo compensada por la inmigración y como no existen observaciones directas del transporte larvario, no es posible hacer conclusiones firmes acerca de la estabilidad de la conectividad entre las Islas Galápagos y otras poblaciones continentales (Lohr, 2003).

A escala macrogeográfica, se ha encontrado un alto grado de diferenciación genética entre poblaciones litorales de *I. fuscus* del Golfo de California en el norte y las islas Galápagos y Ecuador continental en el sur probablemente como consecuencia del aislamiento geográfico, por las corrientes marinas y otras condiciones oceanográficas (Lohr, 2003). En una escala geográfica menor, en las costas del Pacífico de Panamá, existen corrientes oceanográficas y ocurren eventos hidrológicos locales como los afloramientos estacionales (D’Croz & O’Dea, 2007) que quizá sean responsables de la fragmentación del hábitat, actuando como barreras al flujo génico y contribuyendo a la diferenciación genética entre poblaciones del Golfo de Chiriquí y del Golfo de Panamá como ha sido demostrado en varias especies de corales (D’Croz & Maté, 2004; Combosch & Vollmer, 2011). De acuerdo a esta resultados, el pepino de mar podría estar estructurado genéticamente en el Pacífico panameño debido a la heterogeneidad en las condiciones oceanográficas independientemente de la escala geográfica y a pesar de que esta especie posee una elevada capacidad de dispersión debido a su duración larvaria pelágica de 22-27 días (Hamel *et al.*, 2003), lo que puede promover poblaciones genéticamente homogéneas, con nula o débil estructura. Por otra parte, suponemos que si las poblaciones de pepino de mar han sufrido una reducción drástica de sus poblaciones recientemente (cuellos de botella, quizá generados por eventos naturales o sobreexplotación del recurso) es factible esperar niveles bajos de diversidad genética.

La gestión pesquera en Panamá necesita urgentemente de información específica sobre la conectividad poblacional y el flujo génico para

diseñar estrategias apropiadas que promuevan la recuperación de las poblaciones explotadas. Sin embargo, la conectividad entre poblaciones o sitios es difícil de cuantificar. El uso de marcadores moleculares para determinar el nivel de conectividad en poblaciones marinas en general es una opción viable y rentable (Hellberg *et al.*, 2002; Hedgecock, 2007; Saenz-Agudelo *et al.*, 2009; Weersing & Toonen, 2009; Lowe & Allendorf, 2010; Selkoe & Toonen, 2011; Burgess *et al.*, 2013) y también para el caso particular de las poblaciones de pepinos de mar (Vergara-Chen *et al.*, 2010; Skillings *et al.*, 2011, 2014; So *et al.*, 2011; Soliman *et al.*, 2012; Anouk *et al.*, 2013; Yuan *et al.*, 2013). Esto resalta la importancia de estudiar exhaustivamente los patrones de conectividad demográfica y genética de *I. fuscus* por su contribución a la medición directa de las distancias de dispersión larvaria, lo cual puede ayudar a establecer si existen diferentes subpoblaciones en las costas del Pacífico de Panamá. El conocimiento de la variación genética del recurso a lo largo de su ámbito de distribución es un factor importante que permitirá realizar un manejo adecuado, y paulatinamente, sentará las bases para evitar que futuros cultivos dependientes del suministro natural de juveniles pierdan diversidad genética y sufran cambios en su estructura genética poblacional y ayudará a la creación de stocks de reproductores en cautiverio con fines acuícolas.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

El pepino de mar constituye un recurso alternativo para la acuicultura en Panamá que podría ser exportado a los mercados asiáticos, sin embargo, sus poblaciones se encuentran en peligro. Considerando la relevancia de las pesquerías de *I. fuscus* en países como México y Ecuador, y su impacto directo sobre sus poblaciones, existe una preocupación creciente por la forma en que se desarrollan y sus implicaciones sobre el medio marino. De este modo, se hacen necesarias estrategias adecuadas para su gestión, conservación y aprovechamiento sostenible (Bell *et al.*, 2008; Wolff *et al.*, 2012). Estas estrategias deben estar fundamentadas en conocimientos sólidos sobre la biología básica de esta especie en el Pacífico panameño, los cuales permitirán el desarrollo de capacidades para la definición de la estructura y conectividad de sus poblaciones locales, e identificar las poblaciones más diversas y más aptas, para servir como reproductores en programas de acuicultura. A partir de esta premisa, los

conocimientos generados acarrearían los siguientes beneficios: 1) fomento de la gestión del recurso a través de la incorporación de medidas de manejo adecuadas y sostenibles; 2) promoción del cumplimiento de la legislación existente en materia de protección del recurso; y 3) logro de una percepción práctica de la utilización de los datos biológicos en el ordenamiento y conservación del recurso. Definitivamente, el conocimiento biológico de *I. fuscus* propiciará la valoración de la importancia para Panamá de una maravilla oculta en los fondos marinos y un recurso pesquero en peligro.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor es apoyado por el Sistema Nacional de Investigación (contrato SNI 45-2014). La investigación es financiada a través del contrato por mérito 11-2014-4-COL12-036 de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) de Panamá. La Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá (ARAP) brinda asistencia técnica y soporte logístico para la ejecución de este proyecto. Félix Rodríguez (Smithsonian Tropical Research Institute, Panamá) colaboró en la elaboración del mapa de distribución geográfica. Deseamos agradecer los comentarios de los revisores anónimos que contribuyeron a mejorar de forma importante una versión anterior de este artículo.

REFERENCIAS

Alvarado, J.J., F.A. Solís-Marín & C.G. Ahearn. 2010. Echinoderm (Echinodermata) diversity in the Pacific coast of Central America. *Mar. Biodiver.* 40(1): 45-56.

Alvarado, J.J., H.M. Guzman & O. Breedy. 2012. Distribución y diversidad de equinodermos (Asteroidea, Echinoidea, Holothuroidea) en las islas del Golfo de Chiriquí, Panamá. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 47(1): 13-22.

Anouk, N., M. Kochzius & J. Timm. 2013. Connectivity of sea cucumber populations on Indonesian coral reefs. En: Mees, J. & Seys, J. (Eds). *Book of abstracts-VLIZ Young Scientists' Day*. Brugge, Belgium, 15 February 2013. VLIZ Special Publication 63. Vlaams

Instituut voor de Zee-Flanders Marine Institute (VLIZ): Oostende, Belgium. pp. 72-73.

ARAP. 2012. Informe de logros período 2009-2012. Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá (ARAP), República de Panamá. 19 pp.

ARAP. 2013. Resúmenes de proyectos. Dirección General de Investigación y Desarrollo. Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá (ARAP), República de Panamá. 35 pp.

Bell, J.D., S.W. Purcell & W.J. Nash. 2008. Restoring small-scale fisheries for tropical sea cucumbers. *Ocean Coast. Manag.* 51(8): 589-593.

Burgess, S.C., K.J. Nickols, C.D. Griesemer, L.A.K. Barnett, A.G. Dedrick, E.V. Satterthwaite, L. Yamane, S.G. Morgan, J.W. White, J.W. & L.W. Botsford. 2013. Beyond connectivity: how empirical methods can quantify population persistence to improve marine protected area design. *Ecol. Appl.* 24: 257-270.

Chang, Y., Z. Feng J. Yu & J. Ding. 2009. Genetic variability analysis in five populations of the sea cucumber *Stichopus (Apostichopus) japonicus* from China, Russia, South Korea and Japan as revealed by microsatellite markers. *Mar. Ecol.* 30: 455-461.

Combosch, D.J. & S.V. Vollmer. 2011. Population genetics of an ecosystem-defining reef coral *Pocillopora damicornis* in the Tropical Eastern Pacific. *Plos One* 6(8): e21200. doi:10.1371/journal.pone.0021200.

Conde, J.E., H. Díaz & A. Sambrano. 1991. Disintegration of holothurian fecal pellets in beds of the seagrass *Thalassia testudinum*. *J. Coast. Res.* 7(3): 853-862.

Coppard, S.E. & J.J. Alvarado. 2013. Echinoderm diversity in Panama: 144 years of research across the Isthmus. En: Alvarado, J.J., y Solís-Marín, F.A. (eds.) Echinoderm research and diversity in Latin America. Springer Berlin Heidelberg. pp. 107-144.

Cowen, R.K., C.B. Paris & A. Srinivasan. 2006. Scaling of connectivity in marine populations. *Science* 311: 522-527.

D'Croz, L. & J.L. Maté. 2004. Experimental responses to elevated water temperature in genotypes of the reef coral *Pocillopora damicornis* from upwelling and non-upwelling environments in Panama. *Coral Reefs* 23: 473-83.

D'Croz, L. & A. O'Dea. 2007. Variability in upwelling along the Pacific shelf of Panama and implications for the distribution of nutrients and chlorophyll. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 73: 325-340.

Espinoza, E., J.C. Murillo, M.V. Toral-Granda, *et al.* 2001. La pesca en Galápagos: comparaciones de las capturas entre 1997-2000. Informe Galápagos 2000-2001. WWF-Fundación Natura, Quito, pp 55-64.

Fajardo-León, M.C., E. Michel-Guerrero, J. Singh-Cabanillas, *et al.* 1995. Estructura poblacional y ciclo reproductor del pepino de mar (*Isostichopus fuscus*) en Santa Rosalía, BCS, México. *Cienc. Pesq.* 11: 45-53.

Féral, J.P. 2002. How useful are the genetic markers in attempts to understand and manage marine biodiversity? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 268: 121-145.

Gharbi, A. & K. Said. 2011. Genetic variation and population structure of *Holothuria polii* from the eastern and western Mediterranean coasts in Tunisia. *J. Mar. Biol. Ass. UK* 91: 1599-1606.

González-Wangüemert, M., M. Aydin & C. Conand. 2014. Assessment of sea cucumber populations from the Aegean Sea (Turkey): First insights to sustainable management of new fisheries. *Ocean Coast. Manag.* 92: 87-94.

Guzman, H.M. & C.A. Guevara. 2002. Population structure, distribution and abundance of three commercial species of sea cucumber (Echinodermata) in Panama. *Carib. J. Sci.* 38: 230-238.

- Guzman, H.M., C.A. Guevara & I.C. Hernández. 2003. Reproductive cycle of two commercial species of sea cucumber (Echinodermata: Holothuroidea) from Caribbean Panama. *Mar. Biol.* 142: 271-279.
- Hamel, J.F., R. Ycaza, & A. Mercier. 2003. Larval development and juvenile growth of the Galapagos sea cucumber *Isostichopus fuscus*. *SPC beche-de-mer Bull.* 18: 3-8.
- Hearn, A., P. Martínez, V.M. Toral-Granda, *et al.* 2005. Population dynamics of the exploited sea cucumber *Isostichopus fuscus* in the western Galápagos Islands, Ecuador. *Fish. Oceanogr.* 14: 377-385.
- Hellberg, M.E., R.S. Burton, J.E. Neigel & S.R. Palumbi. 2002. Genetic assessment of connectivity among marine populations. *Bull. Mar. Sci.* 70: 273-290.
- Hedgecock, D., P.H. Barber & S. Edmands. 2007. Genetics approaches to measure connectivity. *Oceanogr.* 20: 70-79.
- Herrero-Pérezrul, M.D., H. Reyes-Bonilla, & F. García-Domínguez. 1998. Casual hermaphroditism in gonochoric *Isostichopus fuscus* (Ludwig, 1875) (Echinodermata: Holothuroidea) of the southern Gulf of California, Mexico. *Bull. Mar. Sci.* 63: 611-615.
- Herrero-Pérezrul, M.D., H. Reyes-Bonilla, F. García-Domínguez & C.E. Cintra-Buenrostro. 1999. Reproduction and growth of *Isostichopus fuscus* (Echinodermata: Holothuroidea) in the southern Gulf of California, Mexico. *Mar. Biol.* 135: 521-532.
- Herrero-Pérezrul, M.D. & H. Reyes-Bonilla. 2008. Weight-Length relationship and relative condition of the holothurian *Isostichopus fuscus* at Espíritu Santo Island, Gulf of California, México. *Rev. Biol. Trop.* 56 (Suppl. 3): 273-280.
- Hooker, Y., F.A. Solís-Marín, & M. Llellish. 2005. Equinodermos de las Islas Lobos de Afuera (Lambayeque, Peru). *Rev. Per. Biol.* 12(1): 77-82.

- Kang, J.H., Y.K. Kim, M.J. Kim. *et al.* 2011. Genetic differentiation among populations and color variants of sea cucumbers (*Stichopus japonicus*) from Korea and China. *Inter. J. Biol. Sci.* 7: 323-332.
- Kanno, M., Y. Suyama, Q. Li, & A. Kijima. 2005. Microsatellite analysis of Japanese sea cucumber, *Stichopus (Apostichopus) japonicus*, supports reproductive isolation in color variants. *Mar. Biotechnol.* 8: 672-685.
- Kessler, W.S. 2006. The circulation of the eastern tropical Pacific: a review. *Progr. Oceanogr.* 69: 181-217.
- Kim, M.J., T.J. Choi & H.S. An. 2008. Population genetic structure of sea cucumber, *Stichopus japonicus* in Korea using microsatellite markers. *Aquacult. Res.* 39: 1038-1045.
- Jenkins, M. & T. Mulliken. 1999. Evaluation of exploitation in the Galápagos Islands, Ecuador, sea cucumber trade. *TRAFFIC Int. Bull.* 17: 107-118.
- Lohr, H.R. 2003. Genetic variation among geographically isolated populations of the commercially important sea cucumber, *Isostichopus fuscus*, in the eastern Pacific. M.S. Thesis. San Francisco State University. 56 pp.
- Lowe, W.H. & F.W. Allendorf. 2010. What can genetics tell us about population connectivity? *Mol. Ecol.* 19: 3038-3051.
- Maluf, L.Y. 1991. Composition and distribution of the central eastern Pacific echinoderms. *Nat. Hist. Mus. Los Angeles Count. Tech. Rep.* 2: 1-242.
- Mercier, A., R.Y. Hidalgo & J.F. Hamel. 2004. Aquaculture of the Galapagos sea cucumber *Isostichopus fuscus*. In: Lovatelli, A., Conand, C., Purcell, S. et al. (eds.), *Advances in sea cucumber aquaculture and management*. FAO, Rome, pp. 347-358.
- Mercier, A., R.H. Ycaza & J.F. Hamel. 2007. Long-term study of gamete release in a broadcast-spawning holothurian: predictable lunar and diel periodicities. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 329: 179-189.

Mercier, A., R.H. Ycaza, R. Espinoza, V.M. Arriaga-Haro & J.F. Hamel. 2012. Hatchery experience and useful lessons from *Isostichopus fuscus* in Ecuador and Mexico. Asia-Pacific Tropical Sea Cucumber Aquaculture. ACIAR Proceedings, 136: 79-90.

Mercier, A., Hamel, J.-F., T.-G. Toral-Granda, J.J. Alvarado, E. Paola Ortiz & M. Benavides. 2013. *Isostichopus fuscus*. In: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2013.2. <http://www.iucnredlist.org/details/180373/0>. Visitado el 6 de agosto de 2015.

Ministerio de Desarrollo Agropecuario. 2010. Decreto Ejecutivo No. 217 (de 31 de diciembre de 2009) por medio del cual se prohíbe la extracción, posesión y comercialización del organismo conocido como pepino de mar, en la República de Panamá. Gaceta Oficial, No. 26452: 1-3.

Ministerio de la Presidencia. 2004. Decreto Ejecutivo No. 157 (de 31 de diciembre de 2003) por medio del cual se prohíbe la extracción, posesión y comercialización del organismo marino conocido como pepino de mar, en la República de Panamá. Gaceta Oficial, No. 24963: 3-6.

Purcell, S.W. 2010. Manejo de las pesquerías de pepino de mar con un enfoque ecosistémico. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura. No. 520. Roma, FAO. 169 pp.

Purcell, S.W., C.A. Hair & D.J. Mills. 2012. Sea cucumber culture, farming and sea ranching in the tropics: progress, problems and opportunities. Aquacult. 368: 68-81.

Purcell, S.W., Y. Samyn & C. Conand. 2012. Commercially important sea cucumbers of the world. FAO Species Catalogue for Fishery Purposes. No. 6. Rome, FAO. 150 pp.

Reyes-Bonilla, H. & M.D. Herrero-Pérezrul. 2003. Population parameters of an exploited population of *Isostichopus fuscus* (Holothuroidea) in the southern Gulf of California, Mexico. Fish. Res., 59: 423-430.

Saenz-Agudelo, P., G. Jones, S. Thorrold & S. Planes. 2009. Estimating connectivity in marine populations: an empirical evaluation of assignment tests and parentage analysis under different gene flow scenarios. *Mol. Ecol.* 18: 1765-1776.

Sambrano, A., H. Díaz & J.E. Conde. 1990. Caracterización de la ingesta en *Isostichopus badionotus* (Salenka) y *Holothuria mexicana* Ludwig (Echinodermata: Holothuroidea). *Carib. J. Sci.* 26: 45-51.

Sanford, E. & W.K. Morgan. 2011. Local adaptation in marine invertebrates. *Ann. Rev. Mar. Sci.* 3: 509-535.

Selkoe, K.A. & R.J. Toonen. 2011. Marine connectivity: a new look at pelagic larval duration and genetic metrics of dispersal. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 436, 291-305.

Skillings, D.J., C.E. Bird & R.J. Toonen. 2011. Gateways to Hawai'i: genetic population structure of the tropical sea cucumber *Holothuria atra*. *J. Mar. Biol.* DOI: 10.1155/2011/783030.

Skillings, D.J., C.E. Bird & R.J. Toonen. 2014. Comparative population structure of two edible Indo-Pacific coral reef sea cucumbers (Echinodermata: Holothuroidea). *Bull. Mar. Sci.* 90: 359-378.

So, J.J., S. Uthicke, J.F. Hamel & A. Mercier. 2011. Genetic population structure in a commercial marine invertebrate with long-lived lecithotrophic larvae: *Cucumaria frondosa* (Echinodermata: Holothuroidea). *Mar. Biol.* 158: 859-870.

Soliman, T., M. Kanno, A. Kijima & Y. Yamazaki. 2012. Population genetic structure and gene flow in the Japanese sea cucumber *Apostichopus japonicus* across Toyama Bay, Japan. *Fish. Sci.* 78: 775-783.

Solís-Marín, F.A., J.A. Arriaga-Ochoa, A. Laguarda-Figueras, C.S. Frontana-Urbe & A. Durán-González. 2009. Holoturoideos del Golfo de California. CONABIO-UNAM, México. 165 pp.

Toral-Granda, M.V. & P.C. Martinez. 2007. Reproductive biology and population structure of the sea cucumber *Isostichopus fuscus* (Ludwig, 1875) (Holothuroidea) in Caamano, Galapagos Islands, Ecuador. Mar. Biol. 151: 2091-2098.

Toral-Granda, V. 2008. Population status, fisheries, and trade of sea cucumbers in Latin America and the Caribbean. In: Toral-Granda, V., Lovatelli, A. y Vasconcellos, M. (eds). Sea cucumbers: A global review of fisheries and trade. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 516. Rome, FAO. pp. 213-229.

Toral-Granda, V., A. Lovatelli & M. Vasconcellos. 2008. Sea cucumbers. A global review of fisheries and trade. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 516. Rome, FAO. 317 pp.

Uthicke, S. 1999. Sediment bioturbation and impact of feeding activity of *Holothuria (Halodeima) atra* and *Stichopus chloronotus*, two sediment feeding holothurians, at Lizard Island, Great Barrier Reef. Bull. Mar. Sci. 64: 129-141.

Uthicke, S. & J.A.H. Benzie. 2000. Allozymes electrophoresis indicates high gene flow between populations of *Holothuria (Michrothele) nobilis* (Holothuroidea: Aspidochirotida) on the Great Barrier Reef. Mar. Biol. 137: 819-825.

Uthicke, S. 2001. Nutrient regeneration by abundant coral reef holothurians. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 265: 153-170.

Uthicke, S. & J.A.H. Benzie. 2001. Restricted gene flow between *Holothuria scabra* (Echinodermata: Holothuroidea) populations along the north-east coast of Australia and the Solomon Islands. Mar. Ecol. Prog. Ser. 216: 109-117.

Uthicke, S. & J.A.H. Benzie. 2003. Gene flow and population history in high dispersal marine invertebrates: mitochondrial DNA analysis of *Holothuria nobilis* populations from the Indo-Pacific. Mol. Ecol., 12: 2635-2648.

Vergara-Chen, C., M. González-Wangüemert, C. Marcos & A. Pérez-Ruzafa. 2010. Genetic diversity and connectivity remain high in *Holothuria polii* (Delle Chiaje 1823) across a coastal lagoon-open sea environmental gradient. *Genetica* 138: 895-906.

Von der Heyden, S., M. Beger, R.J. Toonen, *et al.* 2014. The application of genetics to marine management and conservation: examples from the Indo-Pacific. *Bull. Mar. Sci.* 90: 123-158.

Weersing, K. & R.J. Toonen. 2009. Population genetics, larval dispersal, and connectivity in marine systems. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 393: 1-12.

Wolff, M., A. Schuhbauer & M. Castrejón. 2012. A revised strategy for the monitoring and management of the Galapagos sea cucumber *Isostichopus fuscus* (Aspidochirotida: Stichopodidae). *Rev. Biol. Trop.* 60: 539-551.

Yuan, L., C. Hu, L. Zhang, & J. Xia. 2013. Population genetics of a tropical sea cucumber species (*Stichopus monotuberculatus*) in China. *Conserv. Genet.* 14: 1279-1284.

Recibido abril de 2015, aceptado agosto de 2015.