



Fomento de Capacidades en AMP y Conectividad en el Arrecife Mesoamericano

Ejercicios de Conectividad (ECOME) en el SAM 2013-2016

Informe final



Lourdes Vásquez-Yeomans¹, Estrella Malca^{2,3}, Eloy Sosa-Cordero¹, Laura Carrillo¹, Claudio González⁴ y María José González⁴

¹El Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR Unidad Chetumal, México

²National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA

³University of Miami, CIMAS/RSMAS, USA

⁴MAR Fund, Guatemala

Chetumal, Quintana Roo, México
Agosto, 2017

Forma de citar este documento: Vásquez-Yeomans, L., E. Malca, E. Sosa-Cordero, L. Carrillo, C. González y M. J. González. 2017. Fomento de Capacidades en AMP y Conectividad en el Arrecife Mesoamericano. Ejercicios de Conectividad (ECOME) en el SAM 2013-2016. Informe final. ECOSUR. Chetumal, Quintana Roo., México. 50 pp.



Participantes en los Ejercicios de Conectividad en el Sistema Arrecifal Mesoamericano:
Sep 1-9, 2013, Feb 27-28 a Mar 6 y Ago 22-28, 2014, Sep 9-17 2015, Ago 29-31 a Sep 6
2016

Ejercicios de **CO**nectividad en **ME**soamérica, ECOME

País	Participante	Área Protegida/Afiliación
México	José Juan Pérez Francisca A. Antele	Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam (APFFYB) / CONANP
	Adriana Amador Alina Venegas	Parque Nacional Isla Contoy (PNIC) / CONANP
	María del Carmen García Rodolfo Franco	Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos (PNAPM) / CONANP
	Omar Ortíz Yadira Gómez Juan Soberanis	Reserva de la Biósfera Sian Ka'an: Bahía Ascensión (SKBA) y Bahía Espíritu Santo (SKES) / CONANP
	Jorge Gómez Poot Leonardo López	Parque Nacional Arrecifes de Xcalak (PNAX) / CONANP
Belice	Joel Verde Leomir Santoya Laura Rack	Sarteneja Alliance for Conservation Development (SACD), Bacalar Chico Marine Reserve (BCMR)
	Leandra Ricketts	Turneffe Atoll Marine Reserve (TAMR), Universidad de Belice (UB)
	Celia Mahung Tanya Barona James Foley	Port Honduras Marie Reserve (PHMR) / Payne's Creer National Park
Guatemala	Julio Montenegro Silja Ramírez Cleopatra Méndez	Área de Uso Múltiple Rio Sarstún ((AUMRS) /FUNDAECO
	Hendryc Obed Acevedo Victor Gudiel Corona	Refugio de Vida Silvestre Punta Manabique (RVSPM) / CONAP
Honduras	María Arteaga Edoardo E. Antúnez	Zona de Protección Especial Marina Turtle Harbor Rock Harbour (THRH) / Bica Utila
	Irma Brady Gisselle Brady Egla Vidotto Nidia Ramos	Sandy Bay West End Marine Reserve (SBWEMR) / Bica Roatán
Organización, apoyo biológico y taxonómico	John Lamkin	NOAA Early Life History Lab
	María José González Claudio González	MAR Fund
	Selene Morales/Giezi Yam José A. Cohúo Lourdes Vásquez Yeomans	El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)
	Estrella Malca	U of Miami, NOAA Early Life History Lab
Oceanografía física	Laura Carrillo	El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)
Pesquerías	Eloy Sosa Cordero	El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)

RESUMEN

La conectividad a través de la acción de los procesos físicos del océano, con repercusiones en las poblaciones y comunidades biológicas asentadas en hábitats costero-marinos persiste como foco de investigación ecológica. Su importancia influye en aspectos de manejo a escala local y regional. Cuatro grupos: National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA), la Universidad de Miami, Mesoamerican Reef Fund (MAR Fund) y El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) de México, unieron esfuerzos para desarrollar actividades sobre conectividad en el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) y conformaron el grupo de Conectividad del SAM. Esta iniciativa estableció, desde sus inicios, una estrecha relación con autoridades y personal de Áreas Marinas Protegidas (AMP) del SAM, para tomar en cuenta las propuestas y priorizar las necesidades de las AMP. En 2010 surge la iniciativa durante el “1^{er} Taller de Capacitación Regional sobre AMP y la Conectividad en el Arrecife Mesoamericano,” con apoyo del Programa de Conservación de Arrecifes de Coral de NOAA (CRCP por sus siglas en inglés). El 2^{do} taller (2012) dio continuidad al tema de conectividad y se acordó efectuar en 2013, en ocho AMP del SAM, un ejercicio regional de monitoreo simultáneo y estandarizado de postlarvas de peces de arrecife y mediciones de temperatura, denominado ECOME (Ejercicio de Conectividad en el Mesoamericano). El ejercicio comprende el monitoreo del reclutamiento de estadios tempranos de peces, con un arte de muestreo simple, de bajo costo: el colector de columna de agua (CCA). Los CCAs se emplazan antes, durante y después de la luna nueva en sitios arrecifales adecuados para el reclutamiento de peces. Este informe sintetiza los resultados de cinco ECOMES efectuados entre 2013-2016, en los que participaron once AMP de los cuatro países del SAM. Esto implicó 93 días efectivos de trabajo, con 43 a 57 días dedicados a labores de campo. Participaron 213 personas en total, de las que 191 fueron personal de campo; 12 administradores y directores de AMP y 6 del grupo Conectividad-SAM. En los cinco ECOMES fueron capturados en total 1773 peces agrupados en 28 familias, 56 géneros y al menos 75 especies. La mayoría de los estadios capturados fueron postlarvas pero también hubo larvas y juveniles. Los “puffers” o botetes *Canthigaster rostrata*, colectados en todas las AMP, hicieron la mayor contribución en abundancia (29.9%). Durante el ECOME 2, con la participación de sólo siete AMP, se registró la abundancia más baja de peces. Para el ECOME 3, aumentó la abundancia de peces, con una fuerte contribución por parte del “Atlantic bumper” u horqueta del Atlántico, *Chloroscombrus chrysurus*, recolectado en RVSPM de Guatemala. En el ECOME 4, en todas las AMP declinó la abundancia, coincidente con una arribazón de sargazo en la región, excepto en la APFFYB —en la parte más norteña del SAM—, que contribuyó con el 44% del total recolectado en el Mesoamericano y no hubo impacto del sargazo. En el último ejercicio, ECOME 5, aumentó la abundancia de postlarvas, siendo la más elevada de todos los ejercicios y donde *C. rostrata* contribuyó con más del 65% de la captura total, principalmente en la SBWEMR en Honduras. En el último ejercicio, ECOME 5, aumentó visiblemente la abundancia de postlarvas, resultando la más elevada de todos los ejercicios, donde los “puffers” o botetes *C. rostrata* contribuyeron con más del 65% de la captura total. En el período analizado, once familias aportaron el 95% de la abundancia total de postlarvas y juveniles. Entre las más abundantes, en orden decreciente están las familias: Tetraodontidae (“puffers” o botetes) 29.9%, Carangidae (“jacks” o jureles y palometas) 24.4%, Labridae (“wrasses” o doncellas) 13.3%, Monacanthidae (“filefishes” o lijas) 11.1%, y Haemulidae (“grunts” o roncós) 3.8%. En contraste, familias de importancia económica y ecológica como Lutjanidae (“snappers” o pargos) y Scaridae (“parrotfishes” o loros) contribuyeron con el 2.5 y 1.1% respectivamente. Un notable hallazgo fue la captura del lábrido “social wrasse” *Halichoeres socialis* en el ECOME 1 en las dos AMP de Guatemala. Esta especie era considerada endémica de Belice, lo que implica la extensión de su rango de distribución, está clasificada como especie amenazada por la Unión Internacional por la Conservación de la Naturaleza

(IUCN) por sus siglas en inglés (Rocha, 2015). El ECOME 4 coincidió con un evento de arribazón de sargazo en la región, hubo bajas capturas de peces en todas las AMP participantes, con excepción de APFFYB, donde no hubo impacto del sargazo. Aunque no se estableció una relación causa-efecto entre la baja captura de postlarvas de peces y el sargazo es probable que los efectos posteriores a ésta arribazón hayan ocasionado el deterioro de hábitats críticos (pastos marinos) para el reclutamiento de peces. Otro evento importante fue observado en costas de México previo a ECOME 5: la mortandad masiva de *C. rostrata* en Puerto Morelos, Tulum, y en las bahías de Sian Ka'an y Mahahual. Ninguna AMP registró peces muertos pero las abundancias de *C. rostrata* en el ECOME 5 superaron a las reportadas previamente en la mayoría de las AMP. Las mayores abundancias de botetes o "puffers" se registraron en SBWEMR en Honduras. Estos dos casos ilustran el valor del monitoreo en varias AMPs basada en métodos de muestreo estandarizados, para detectar eventos de interés ecológico a escala regional. Tres sensores de medición de parámetros ambientales (temperatura marina, presión o nivel del agua para medir mareas) fueron facilitados a AMP de Belice, Guatemala y Honduras. Por primera vez, se obtuvo con éxito una serie de tiempo de temperatura en PHMR en Belice, donde la temperatura mostró una clara variación estacional, junto con oscilaciones de periodo más corto (diurnas), esto es fundamental ya que se fortalece la información sobre los procesos físicos en los hábitats. En etapas posteriores, habrá que insistir en la toma de datos de temperatura en las AMP participantes, e incluso conseguir equipos para fortalecer la información sobre procesos físicos en hábitats costeros del SAM es cada vez más importante ante los indicadores de cambio climático.

De entre los resultados de estos esfuerzos destaca como el más sobresaliente haber completado cinco ejercicios ECOME simultáneos y estandarizados sobre el reclutamiento de peces en varias AMP del SAM. Esto fue posible gracias a la participación de numerosas personas ligadas al manejo y administración de AMP; así como organizaciones e instituciones de los cuatro países del Arrecife Mesoamericano. Así, la construcción y desarrollo de esta iniciativa ha descansado en una rica y diversa base de recursos humanos e institucionales comprometidos con la conservación de los recursos naturales de la región. Lo anterior ha contado con una cantidad relativamente modesta de recursos, a partir de un fondo inicial aportado por NOAA CRCP, que facilitó la coordinación y arranque de este primer esfuerzo colaborativo de investigación en once AMP de los países del Arrecife Mesoamericano. A partir de 2014, MAR Fund ha aportado fondos adicionales para fines de capacitación, intercambios entre el grupo de coordinación y biología, compra de equipos menores y ejecución de los ECOMES. Dos aspectos fundamentales: 1) el factor humano, el personal capacitado de las AMP, y 2) la metodología utilizada, basada en colectores de bajo costo como arte selectivo y estandarizado de muestreo, de fácil instalación y revisión, dirigidos a la colecta de estadios tempranos de peces. Los resultados obtenidos son evidencia a favor del uso de estos colectores para el monitoreo del reclutamiento de peces de importancia ecológica y pesquera. Desde una perspectiva académica, los resultados contribuyen a las investigaciones regionales sobre procesos de reclutamiento de peces de arrecife y su relación con factores físicos y biológicos. Es preocupante la escasa presencia de peces de la familia loros de importancia ecológica y de los pargos de interés pesquero; además de la total ausencia de postlarvas de pez león. Se identifica como asunto de interés, que amerita esfuerzos de investigación adicionales, la revisión del estado de las poblaciones de loros y pargos en las AMP del Arrecife Mesoamericano. El grupo Conectividad busca la continuidad de esta iniciativa de monitoreo regional basada en el esfuerzo conjunto entre distintas agrupaciones e instituciones comprometidas con la conservación y manejo de los ecosistemas costero-marinos de la región SAM.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. MÉTODOS.....	16
3. RESULTADOS.....	19
3.1. Abundancia de postlarvas de peces en el SAM.....	20
3.2. Abundancia de postlarvas de peces por AMP.....	25
3.3. Abundancia de “puffers” o botetes <i>Canthigaster rostrata</i>	28
3.4. Abundancia de postlarvas de peces por noche de muestreo.....	30
3.5. Riqueza de especies por ejercicio de conectividad ECOME.....	31
3.6. Riqueza de especies por AMP en el SAM.....	31
3.7. Parámetros físicos a partir de sensores de temperatura.....	33
4. CONCLUSIONES SOBRE LOS CINCO EJERCICIOS DE CONECTIVIDAD.....	35
5. RECOMENDACIONES DEL GRUPO DE CONECTIVIDAD SAM.....	39
6. AGRADECIMIENTOS.....	42
7. LITERATURA CITADA.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del ciclo de vida de la mayoría de los peces arrecifales.	9
Figura 2. Áreas marinas protegidas participantes en los Ejercicios de Conectividad en el Sistema Arrecifal Mesoamericano (ECOME). (YB) Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, APFFYB; (CO) Parque Nacional Isla Contoy, PNIC; (MO) Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos, PNAPM; Reserva de la Biosfera Sian Ka'an: (BA) Bahía Ascensión, SKBA; (ES) Bahía Espíritu Santo, SKES; (XK) Parque Nacional Arrecifes de Xcalak, PNAX; (BC) Bacalar Chico Marine Reserve, BCMR; (TA) Turneffe Atoll Marine Reserve, TAMR; (PH) Port Honduras Marine Reserve, PHMR; (RS) Área de Uso Múltiple Rio Sarstún, AUMRS; (PM) Refugio Vida Silvestre Punta Manabique, RVSPM; (TR) Zona de Protección Especial Marina Turtle Harbour - Rock Harbour Utila, THRH y (SB) Sandy Bay West End Marine Reserve Roatán, SBWEMR.	11
Figura 3. Primer Taller del grupo de Conectividad del SAM (Mayo, 2010).	12
Figura 4. Segundo Taller del grupo de Conectividad del SAM (Marzo, 2012).	13
Figura 5. Grupo de trabajo de Contoy, PNIC, México.	13
Figura 6. Grupo de trabajo de RBES, México.	14
Figura 7. Grupo de trabajo de Yum Balam, APFFYB, México.	14
Figura 8. Grupo de trabajo de BCMR-SACD, Belice.	15
Figura 9. Metodología de trabajo para los ejercicios de conectividad ECOME usando colectores de columna de agua (CCAs) para la colecta de postlarvas de peces: 1) equipo básico, 2) diseño de muestreo, 3) trabajo de campo y 4) trabajo de laboratorio.	17
Figura 10. Contribución por familia (abundancia proporcional %) de peces (larvas, postlarvas y juveniles) en el SAM durante los ECOME 1-5.	23
Figura 11. Porcentaje de abundancia (%) de los géneros y especie de peces (larvas, postlarvas y juveniles) más abundantes en el SAM durante ECOME 1-5.	24
Figura 12. Especies más abundantes en los ECOME 1-5: izquierda: <i>Chloroscombrus chrysurus</i> (serie de crecimiento), derecha superior <i>Canthigaster rostrata</i> y derecha inferior <i>Monacanthus tuckeri</i>	24
Figura 13. a) <i>Halichoeres socialis</i> 12.5 mm y 23.5 mm LE, y b) distribución de tallas de los ejemplares de <i>H. socialis</i> (n= 96) capturados en Punta Manabique, Guatemala.	25
Figura 14. Abundancia total de peces (larvas, postlarvas y juveniles) por AMP para los cinco ejercicios de conectividad. Yum Balam, APFFYB; Contoy, PNIC; Puerto Morelos, PNAPM; Sian Ka'an, SKBA y SKES; Xcalak, PNAX; Bacalar Chico, BCMR; Turneffe, TAMR; Port Honduras, PHMR; Sarstún, AUMRS; Manabique, RVSPM; Utila, THRH; Roatán, SBWEMR.	26

- Figura 15. Abundancias de peces arrecifales por AMP en los cinco ejercicios de conectividad: A) ECOME 1, 2013; B) ECOME 2, 2014; C) ECOME 3, 2014; D) ECOME 4, 2015; E) ECOME 5, 2016; F) Abundancia promedio de los cinco ECOME. El tamaño del círculo (●) es proporcional a la abundancia (No. de postlarvas): azul ● (0-20), verde ● (21-60), rojo ● (61-100) y violeta ● (≥ 101). 27
- Figura 16. Mortandad de “puffers” o botetes *Canthigaster rostrata* en Mahahual Q. Roo, México el 28 de agosto del 2016. 28
- Figura 17. Abundancia de “puffers” o botetes, *Canthigaster rostrata*, durante el ECOME 5 en varias AMP: Puerto Morelos, PNAPM; Xcalak, PNAX; Bacalar Chico, BCMR; Port Honduras, PHMR; Utila, THRH; Roatán, SBWEMR. 29
- Figura 18. Grupo de trabajo de Roatán SBWEMR, Honduras. 29
- Figura 19. Distribución de tallas de “puffers” o botetes (*Canthigaster rostrata*), durante el ejercicio de conectividad ECOME 5. 30
- Figura 20. Variación de la abundancia total de peces (larvas, postlarvas y juveniles) capturados en el SAM durante las noches de muestreo para los cinco ejercicios de conectividad. El círculo azul (●) indica noche de luna nueva. 30
- Figura 21. Riqueza de especies en cada ejercicio de conectividad en el SAM. 31
- Figura 22. Riqueza de especies por área marina protegida del SAM. 31
- Figura 23. Grupo de trabajo de AUMRS, Guatemala. 32
- Figura 24. Especies exclusivas de Guatemala (AUMRS y RVSPM) durante los ECOME. 32
- Figura 25. Serie de temperatura del agua en el período mayo de 2013 a enero de 2014, para Port Honduras, PHMR. Las fechas del ECOME 1 (1-9 de septiembre 2013) se muestran en amarillo. 33
- Figura 26. Grupo de trabajo de PHMR, Belice. 33
- Figura 27. Temperatura (°C) registrada por sensores instalados en dos AMP: Xcalak, PNAX (panel derecho) y Contoy, PNIC (panel izquierdo) durante los días del ECOME 1 del 2-7 de septiembre, 2013; ECOME 2 del 27 de febrero al 6 de marzo 2014; y ECOME 3 del 22-28 de agosto 2014. 34
- Figura 28. Arribazón de sargazo en septiembre 2015 en AMP del SAM. 37

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Áreas marinas protegidas (AMPs) participantes en los cinco Ejercicios de Conectividad en el Sistema Arrecifal Mesoamericano. Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, APFFYB; Parque Nacional Isla Contoy, PNIC; Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos, PNAPM; Reserva de la Biosfera Sian Ka'an: Bahía Ascensión, Bahía Espíritu Santo; Parque Nacional Arrecifes de Xcalak, PNAX; Bacalar Chico Marine Reserve, BCMR; Turneffe Atoll Marine Reserve, TAMR; Port Honduras Marine Reserve, PHMR; Área de Uso Múltiple Río Sarstún, AUMRS; Refugio Vida Silvestre Punta Manabique, RVSPM; Zona de Protección Especial Marina Turtle Harbour - Rock Harbour Utila, THRH y Sandy Bay West End Marine Reserve Roatán, SBWEMR 19
- Tabla 2. Tabla 2. Número de participantes en los Ejercicios de Conectividad en el SAM. Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, APFFYB; Parque Nacional Isla Contoy, PNIC; Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos, PNAPM; Reserva de la Biosfera Sian Ka'an: Bahía Ascensión, Bahía Espíritu Santo; Parque Nacional Arrecifes de Xcalak, PNAX; Bacalar Chico Marine Reserve, BCMR; Turneffe Atoll Marine Reserve, TAMR; Port Honduras Marine Reserve, PHMR; Área de Uso Múltiple Río Sarstún, AUMRS; Refugio Vida Silvestre Punta Manabique, RVSPM; Zona de Protección Especial Marina Turtle Harbour - Rock Harbour Utila, THRH y Sandy Bay West End Marine Reserve Roatán, SBWEMR 20
- Tabla 3. Composición taxonómica y abundancia de postlarvas y juveniles tempranos de peces registrados en ECOME 1 (1-9 septiembre, 2013), ECOME 2 (27 febrero-6 marzo, 2014), ECOME 3 (22-28 agosto, 2014), ECOME 4 (9-17septiembre, 2015) y ECOME 5 (29-31 agosto a 6 septiembre, 2016). 21-22

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1. Relación de coordenadas de las estaciones de colecta para cada una de las AMP participantes en los ejercicios de conectividad ECOME: Yum Balam, APFFYB; Contoy, PNIC; Puerto Morelos, PNAPM; Sian Ka'an: SKBA, SKES; Xcalak, PNAX; Bacalar Chico, BCMR; Turneffe, TAMR; Port Honduras, PHMR; Sarstún, AUMRS; Punta Manabique, RVSPM; Utila, THRH; Roatán, SBWEMR. 46
- Anexo 2. Catálogo de postlarvas y juveniles de peces del SAM registradas durante los ejercicios de conectividad ECOME. 47
- Anexo 3. Pantallas del proyecto BOLDSYSTEM que muestran resultados obtenidos para ejemplares colectados en Punta de Manabique RVSPM, usando la técnica genética de Código de Barras de la Vida. Muestran información taxonómica de los ejemplares y ubicación geográfica de su localidad de colecta. 48-49
- Anexo 4. Maniobras de trabajo de campo de los diferentes grupos en las áreas marinas del SAM durante los ECOME. 50-52
- Anexo 5. Detalles generales de los ejercicios ECOME y reunión de trabajo en Cancún (julio 2016) con el personal de once AMP del SAM. 53

1. INTRODUCCIÓN

El sistema arrecifal Mesoamericano constituye la segunda barrera arrecifal más grande del mundo con aproximadamente 1000 km de longitud y abarca los países de México, Belice, Guatemala y Honduras (Almada-Villela *et al.*, 2002). Los arrecifes de coral son ecosistemas que albergan una gran biodiversidad de especies, entre los que destacan los peces arrecifales quienes constituyen uno de los componentes más importantes. A lo largo de esta barrera Mesoamericana, se ubican numerosos sitios de agregaciones reproductivas de peces (Sosa-Cordero *et al.*, 2009) y se encuentran una gran diversidad de hábitats costeros (manglares, pastos y marismas), que son críticos para la crianza de algunas poblaciones de peces arrecifales (Mumby *et al.*, 2004; Adams *et al.*, 2006). Estos hábitats se conectan por medio de un corredor de áreas marinas y costeras que albergan diversas especies de importancia comercial y ecológica.

La mayoría de los peces arrecifales tienen un ciclo de vida que comprende dos etapas: una fase larval plánctica y una fase juvenil y adulta béntica (Leis, 1991). Durante la fase larval, los peces se encuentran a la deriva y pueden ser transportados por las corrientes a grandes distancias o pueden quedar atrapados relativamente cerca de sus sitios de origen, por mecanismos físicos como giros y convergencias, entre otros. Al momento en que los peces dejan la vida plánctica para establecerse en el hábitat béntico, se le conoce como fase de asentamiento. Para ello, las postlarvas de peces arrecifales, también denominadas como estadios de pre-asentamiento (Leis, 1991), deberán cruzar las crestas arrecifales o entrar por los canales arrecifales para establecerse en los hábitats bénticos más adecuados para ellos (Fig. 1).

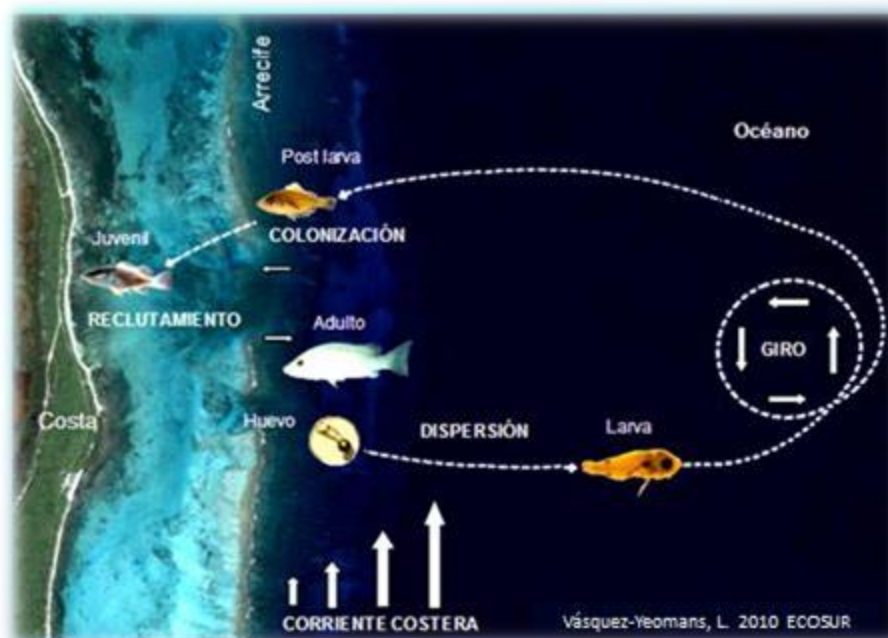


Figura 1. Esquema del ciclo de vida de la mayoría de los peces arrecifales.

La conectividad a través de la acción de los procesos físicos y meteorológicos del océano (Paris *et al.*, 2013), con fuertes repercusiones de tipo biológico y ecológico en las poblaciones y comunidades (Muhling *et al.*, 2013) asentadas en hábitats marinos y costeros, se ha convertido en el foco de ambiciosos programas de investigación (Sale *et al.*, 2010).



El término de conectividad definido arriba es el que se apega al objetivo general del presente informe. Desde el punto de vista del manejo de recursos, el desconocer los procesos de conectividad incrementa la incertidumbre acerca de la funcionalidad y eficacia de las medidas de manejo a escala local y regional. De hecho, el conocimiento sobre los procesos de conectividad es un insumo fundamental para proponer fronteras razonables de un manejo regional sostenible de los ecosistemas de arrecife coralino (Sale *et al.*, 2010).

En cuanto a los antecedentes en la región, es necesario señalar que desde la primera etapa del gran proyecto regional denominado Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM- o MBRS, por sus siglas en inglés), a finales de la década de los 1990s, se identificó a la conectividad como un campo de investigación prioritario. Además de tener una clara relevancia en la propia región del SAM (Fig. 2) acerca de la conectividad en relación a larvas y postlarvas de peces, interesaba también conocer su papel en el transporte de contaminantes (Almada-Villela *et al.*, 2003) entre los sistemas corriente abajo (Caribe Central) y corriente arriba (Golfo de México, sur de Florida y SW de Cuba). Para atender el problema de la conectividad en el SAM se han realizado estudios de oceanografía física a escala local y en menor grado a escala regional (Carrillo *et al.*, 2015), lo que requirió adquirir el equipo necesario para la captura de observaciones *in situ*; -así como el desarrollo de diversos modelos numéricos, como los modelos de Paris *et al.* (2013), Sheng y Tang (2004) y Ezer *et al.* (2005) por mencionar algunos. Por otro lado, dos aspectos ecológicos en ambientes costeros, con son el transporte de huevos y larvas de peces e invertebrados de importancia económica y ecológica; y ii) transporte y difusión de contaminantes generados tierra adentro, producto de actividades agro-pecuarias, se convirtieron en un componente importante asociado al esfuerzo que se venía realizando en oceanografía física.

En este contexto, dos instituciones de EUA, el Servicio Nacional de Pesquerías Marinas (NMFS por sus siglas en inglés) –dependencia de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)–, la Universidad de Miami (CIMAS-RSMAS), una organización de carácter regional “Mesoamerican Reef Fund” (MAR Fund) y una institución de México, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), unieron esfuerzos para desarrollar actividades y acciones sobre el tema de la conectividad en el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) considerando los procesos físicos y biológicos (biofísica). Esta iniciativa ha trabajado en estrecha relación, desde el comienzo, con las autoridades y el personal de las Áreas Marinas Protegidas (AMP) de la

Región del Arrecife Mesoamericano, con la finalidad de que sean consideradas las propuestas y necesidades de las AMP de la región.

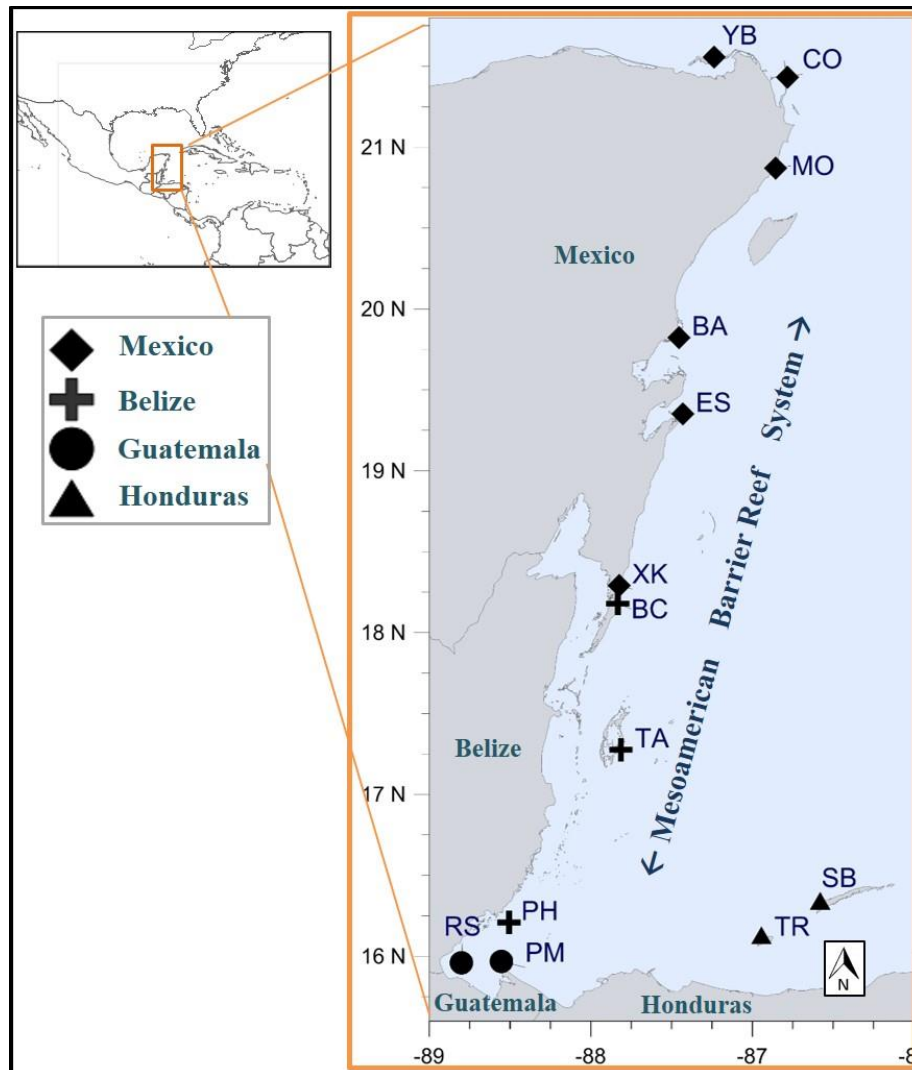


Figura 2. Áreas marinas protegidas participantes en los Ejercicios de Conectividad en el Sistema Arrecifal Mesoamericano (ECOME). (YB) Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam; (CO) Parque Nacional Isla Contoy; (MO) Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos; Reserva de la Biosfera Sian Ka'an; (BA) Bahía Ascensión, (ES) Bahía Espíritu Santo; (XK) Parque Nacional Arrecifes de Xcalak; (BC) Bacalar Chico Marine Reserve; (TA) Turneffe Atoll Marine Reserve; (PH) Port Honduras Marine Reserve; (RS) Área de Uso Múltiple Río Sarstún; (PM) Refugio Vida Silvestre Punta Manabique; (TR) Zona de Protección Especial Marina Turtle Harbour - Rock Harbour Utila; (SB) Sandy Bay West End Marine Reserve Roatán.

En 2010, del 17 al 19 de mayo tuvo lugar en Chetumal, Quintana Roo, México, el Primer Taller de Capacitación Regional sobre Áreas Marinas Protegidas y la Conectividad en el Arrecife Mesoamericano, con apoyo del Programa de Conservación de Arrecifes de Coral (Coral Reef Conservation Program) de la NOAA. El taller estuvo dirigido a los administradores de recursos y al personal e interesados que trabaja en las AMPs del SAM prioritarias para MAR Fund (Fig. 3). El objetivo de este taller fue sensibilizar y promover una mayor comprensión de la

conectividad biofísica a lo largo del SAM y su papel potencial a escala de ecosistemas entre las AMPs, a través del intercambio de experiencias (<http://www.marfund.org/documentosreddeconectividad/>).

Un resultado concreto del primer taller fue la creación de una Coalición de Conectividad SAM (grupo de Conectividad-SAM) integrada por administradores de AMP y científicos. Esta coalición ha sido dirigida por el grupo promotor integrado por representantes de ECOSUR, MAR Fund y NMFS-NOAA, la Universidad de Miami, en lo sucesivo este grupo es referido como “grupo de Conectividad-SAM” (Fig. 3).



Figura 3. Primer Taller del grupo de Conectividad del SAM (Mayo, 2010).

En 2012, MAR Fund organizó el Segundo Taller Regional de Conectividad en el Arrecife Mesoamericano, en Chetumal, Quintana Roo, México durante los días 13 y 14 de marzo, con apoyo de la National Fisheries & Wildlife Foundation (Fig. 4). En este taller se planteó, como objetivo central, evaluar y mejorar las capacidades del personal de las AMP para realizar un monitoreo biofísico en la región del SAM. El taller incluyó el entrenamiento de los participantes en una práctica *in situ*, efectuada en el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak (PNAX) sobre tres aspectos fundamentales: 1) Reclutamiento de larvas de peces, 2) Manejo de equipo oceanográfico y recuperación de datos, y 3) Recolecta de datos del pez león; temáticas que fueron sugeridas por los participantes del primer taller.



Figura 4. Segundo Taller del grupo de Conectividad-SAM (Marzo, 2012).

La conclusión del segundo taller y propuesta del grupo de Conectividad-SAM fue llevar a cabo en 2013 un ejercicio regional de monitoreo de postlarvas de peces arrecifales y la medición de temperaturas, de forma simultánea y estandarizada en varias AMP a lo largo del SAM. Inicialmente, el compromiso fue aceptado por ocho AMP participantes en el segundo taller: Parque Nacional Isla Contoy (PNIC) (Fig. 5), Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an en dos localidades, Punta Allen en Bahía Ascensión (SKBA) y Punta Herrero en Bahía Espíritu Santo (SKES) (Fig. 6) y en el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak (PNAX) en México; Port Honduras Marine Reserve (PHMR) en Belice; Área de Uso Múltiple Rio Sarstún/FUNDAECO (AUMRS), Refugio Vida Silvestre Punta Manabique (RVSPM) en Guatemala; Zona de Protección Especial Marina Turtle Harbour-Rock Harbour Utila (THRH) y Sandy Bay West End Marine Reserve Roatán, (SBWEMR) en Honduras. Se entregó un colector de postlarvas de peces a cada una de las AMP comprometidas y un sensor de temperatura programado para su instalación inmediata en tres áreas: PHMR, RVSPM y SBWEMR (<http://www.marfund.org/documentos/reddeconectividad/>).



Figura 5. Grupo de trabajo de Contoy, PNIC, México.



Figura 6. Grupo de trabajo de RBES, México.

En 2013, después de una intensa actividad de organización, se realizó el primer ejercicio de monitoreo biofísico ECOMÉ 1 (Ejercicio de **CO**nectividad en el **Me**soamericano) con la participación de ocho AMP. En 2014 se realizaron dos ejercicios, en ECOMÉ 2 se integró Turneffe, TAMR de Belice; en ECOMÉ 3 se adhirió Yum Balam, APFFYB (Fig. 7). En 2015 se efectuó el ECOMÉ 4, con la incorporación de la Bacalar Chico, BCMR en Belice (Fig. 8) con la colaboración directa del personal de Sarteneja Alliance for Conservation and Development (SACD). En 2016 se realizó el ECOMÉ 5, integrándose Puerto Morelos (PNAPM), de México y reactivándose la participación de Utila, THRH de Honduras.



Figura 7. Grupo de trabajo de APFFYB, México.



Figura 8. Grupo de trabajo de BCMR-SACD, Belice.

A partir de los resultados de los primeros tres ejercicios de conectividad ECOME 1-3 se presentaron avances sobre las larvas y postlarvas de peces arrecifales que arribaron a las costas en diez AMP del Mesoamericano (Malca *et al.*, 2015). Este fue el primer paso para lograr un mejor entendimiento de la conectividad de peces arrecifales en sus etapas tempranas de vida y con base en el monitoreo de subsecuentes ECOMES generar una línea base sólida para la región del SAM, ésta área que alberga a una gran diversidad de peces y que presenta una serie de retos para el conocimiento y manejo de sus ecosistemas.

2. MÉTODOS

La metodología convencional de muestreo de postlarvas de peces enfrenta dificultades por la fisiografía de los sistemas arrecifales, además de los altos costos de equipo y recursos humanos. Por ello, para el monitoreo de postlarvas de peces en el Arrecife Mesoamericano (ECOME) se propuso el uso de los Colectores de Columna de Agua (CCAs) descritos por Steeley y colaboradores (2002). Estos colectores fueron probados con éxito en California para el muestreo de postlarvas que arriban a la costa. Los CCAs, son equipos de bajo costo, fácil maniobrabilidad y selectivos, estas características facilitaron su elección como artes de muestreo convenientes para realizar los ejercicios de conectividad (ECOME) de forma simultánea y estandarizada en todas las AMP del Mesoamericano. Los CCAs, fueron utilizados y evaluados con éxito en Cayos de la Florida (Lamkin, comunicación personal) y en dos áreas marinas del Caribe mexicano: en Sian Ka'an, SKBA e Xcalak, PNAX (Yam Poot, 2013). El trabajo de Yam Poot (2013) sienta las bases del uso de estos colectores para el monitoreo de postlarvas de peces de importancia ecológica y pesquera, mediante el cálculo de un índice de abundancia.

El personal científico del ECOSUR, NOAA y U. Miami elaboró un protocolo de trabajo de campo y laboratorio, en inglés y español, que fue compartido en una plataforma en la nube (Dropbox) y por mensajes personales (e-mail) con los colegas y organizadores de MAR Fund, quienes alojaron la información en su sitio Web (<http://www.marfund.org/documentosreddeconectividad/>). Los protocolos incluyeron toda la información necesaria para efectuar el ejercicio de campo, desde los materiales para fabricar los colectores (CCAs), las instrucciones para su fabricación y la explicación, en detalle, del diseño experimental, consideraciones los sitios adecuados para emplazar los equipos (CCAs), así como las distancias entre estaciones (Fig. 9). Además, el protocolo contenía recomendaciones básicas para la captura de información en bitácoras, algunas particularidades para la identificación y la toma de fotografías de los peces recolectados. Se compartió un video que ilustró la metodología para la revisión de los colectores y se generó y compartió otro video, con los procedimientos para la preparación de los sensores de temperatura así como las guías para su instalación (<http://www.marfund.org/documentosreddeconectividad/>) (Fig. 9).

Para facilitar el inicio de los ejercicios ECOME, el grupo de Conectividad-SAM organizó y compró los materiales y llevó a cabo la fabricación de los CCAs, bajo la responsabilidad de la M. en C. Lourdes Vásquez, así como la adquisición de los sensores de temperatura. Se distribuyeron 20 colectores y una bolsa de colecta para cada una de las áreas. Los sensores de temperatura fueron enviados a las AMP de Port Honduras, PHMR en Belice, Punta Manabique, RVSPM en Guatemala y en Roatán, SBWEMR en Honduras.

La coordinación del grupo de Conectividad-SAM asesoró antes, durante y después de cada ejercicio ECOME en campo. Sin embargo, durante la ejecución de los ejercicios en campo hubo un acompañamiento permanente para cada una de las AMPs, con la finalidad de apoyar en la resolución de las dudas surgidas durante los días del monitoreo. Al término de cada uno de los ejercicios, los responsables técnicos en cada una de las AMPs compartieron las bitácoras de campo, para proseguir con el análisis de resultados. Las bitácoras incluyeron información sobre la ubicación de las estaciones de muestreo dentro de cada área (Anexo 1), sobre las capturas

diarias de cada una de las estaciones y CCAs, así como una matriz con el resumen final de las recolectas de larvas, postlarvas y juveniles de peces.



Figura 9. Metodología de trabajo compartida con el grupo Conectividad para los ejercicios de conectividad ECOME usando colectores de columna de agua (CCA) para la colecta de larvas y postlarvas de peces arrecifales: 1) equipo básico, 2) diseño de muestreo, 3) trabajo de campo y 4) trabajo de laboratorio.

Los ejemplares capturados en las AMPs mexicanas y en el área de Bacalar Chico (BCMR), fueron enviados al Laboratorio de Zooplankton del ECOSUR, donde la M. en C. Lourdes Vásquez realizó la identificación de las larvas y postlarvas de peces con apoyo del personal del propio centro. En los casos de las AMP de Belice, Guatemala y Honduras, la identificación de los peces se hizo a partir de imágenes de buena calidad de los ejemplares recolectados, las cuales fueron tomadas con su respectiva etiqueta y una regla métrica. Todo el material fotográfico fue enviado al ECOSUR para la corroboración taxonómica y la captura en la base de datos.

Con base en todo el material recibido, peces y/o imágenes de los peces de las AMP más alejadas, además del material previamente obtenido por Yam-Poot (2013), se generó un catálogo con los ejemplares representativos del Mesoamericano, que incluyó ejemplares únicos de algunos sitios de las diferentes AMP. La organización y edición del catálogo, realizado en ECOSUR bajo la responsabilidad de la M. en C. Lourdes Vásquez, tuvo dos objetivos primordiales: 1) facilitar a los responsables de las AMP el reconocimiento e identificación de los peces capturados en los CCAs, y 2) facilitar la liberación de los peces en posteriores ejercicios, después de su identificación, siempre y cuando estuvieran vivos y fueran previamente medidos. Con el apoyo de MAR Fund, en agosto de 2015, el catálogo fue distribuido a todos los responsables de las AMP y fue utilizado como herramienta de apoyo

durante los dos últimos ejercicios, ECOME 4 y 5 (Anexo 2) (<http://www.marfund.org/documentosreddeconectividad/>). Está pendiente una reactualización del mismo con especies que fueron colectadas en los dos últimos ejercicios.

Algunos ejemplares recolectados en el Mesoamericano fueron identificados mediante técnicas genéticas del Código de Barras de la Vida (<http://www.boldsystems.org/>). Esta técnica (BOLD), emplea el gen mitocondrial que codifica para la subunidad 1 de la enzima citocromo-oxidas, CO1, región alrededor de 648 pares de bases que es “especie-específico” y que permite identificar con certeza especies de todos los grupos zoológicos (Hebert *et al.*, 2003). En el caso de peces ha sido utilizado con gran éxito en todos sus estadios ontogenéticos desde huevo a adulto (Ward, 2009; Valdez-Moreno *et al.*, 2010; Leyva-Cruz *et al.*, 2016).

En este sentido, algunos peces de Punta Manabique, Guatemala fueron analizados mediante esta técnica. Con este propósito, MAR Fund, financió la estancia de capacitación del Biól. Victor Gudiel Corona en ECOSUR Chetumal, donde aprendió las bases metodológicas para la extracción del tejido de los peces siguiendo el protocolo de BOLD (<http://www.boldsystems.org/>). Posteriormente se llevó a cabo la extracción y amplificación del ADN en el Laboratorio de Código de Barras de ECOSUR-Chetumal y la secuenciación se realizó en el Laboratorio de Genética de la Universidad de Guelph en Ontario Canadá (Anexo 3). Para los análisis genéticos se contó con el apoyo de la Red Mexicana de Código de Barras de la Vida (MEXBOL). De los últimos dos ejercicios de conectividad (ECOME 4 y 5), se seleccionaron algunos peces (larvas, postlarvas y juveniles) que no fueron posibles de identificar con base en sus caracteres morfológicos, por lo que su identificación se hará mediante el código de barras, esperando tener los resultados a principios de octubre de este año. De igual manera, el costo de estos análisis será cubierto con fondos de MEXBOL.

Otros fondos recibidos a través de MAR Fund fueron para Eglá Vidotto de SBWEMR, quien realizó una visita al Laboratorio de Zooplancton de ECOSUR en Chetumal, Mexico donde se le capacitó en la identificación de estadios tempranos de vida de peces marinos, bajo la supervisión de la M. en C. Lourdes Vásquez y de la Biól. Selene Morales. También se asignaron apoyos a Selene Morales, Giezi M. Yam, José A. Cohúo, Tyrell M. Reyes y Orlin D. Cruz, y la técnica Bertha Aguirre, estudiantes del Instituto Tecnológico de Chetumal (ITCH), quienes ayudaron en la identificación y medición de postlarvas y juveniles de peces, en la captura de información y en la asistencia en campo, capacitando al personal de varias AMP y participando directamente en la ejecución de los ejercicios. Finalmente MAR Fund patrocinó la elaboración del Catálogo de Postlarvas de peces conformado con ejemplares característicos del SAM y producto de los ECOME 1-3.

3. RESULTADOS

Durante el período 2013 - 2016, se realizaron cinco Ejercicios de Conectividad (ECOME 1-5), en los que participaron once AMP. El número de áreas participantes varió de siete, en ECOME 2, a once, en ECOME 5. El primer ejercicio, ECOME 1, inició con ocho áreas: tres en México, una en Belice, dos en Guatemala y dos en Honduras. Para el ECOME 2, se unió Turneffe TAMR en Belice; en el ECOME 3, se adhirió Yum Balam APFFYB y, para el ECOME 4, se incorporó Bacalar Chico BCMT. El ECOME 5 tuvo la participación del mayor número de AMP con la integración de Puerto Morelos PNAPM y la participación de THRH de Utila. Sian Ka'an estuvo representada en dos localidades: SKBA y SKES, aunque su participación no fue consistente (Tabla 1).

Tabla 1. Áreas marinas protegidas (AMPs) participantes en los cinco Ejercicios de Conectividad en el Sistema Arrecifal Mesoamericano. Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, APFFYB; Parque Nacional Isla Contoy, PNIC; Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos, PNAPM; Reserva de la Biosfera Sian Ka'an: Bahía Ascensión, Bahía Espíritu Santo; Parque Nacional Arrecifes de Xcalak, PNAX; Bacalar Chico Marine Reserve, BCMR; Turneffe Atoll Marine Reserve, TAMR; Port Honduras Marine Reserve, PHMR; Área de Uso Múltiple Rio Sarstún, AUMRS; Refugio Vida Silvestre Punta Manabique, RVSPM; Zona de Protección Especial Marina Turtle Harbour - Rock Harbour Utila, THRH y Sandy Bay West End Marine Reserve Roatán, SBWEMR.

		ECOME					
PAIS	AMP		1	2	3	4	5
MEXICO	APFFYB	YB			X	X	X
MEXICO	PNIC	CO	X	-	X	X	X
MEXICO	PNAPM	MO					X
MEXICO	SKBA	BA	X	X	X	-	-
MEXICO	SKES	ES	X	X		X	X
MEXICO	PNAX	PX	X	X	X	X	X
BELICE	BCMR	BC				X	X
BELICE	TAMR	TA		X	X	-	-
BELICE	PHMR	PH	X	X	X	X	X
GUATEMALA	AUMRS	RS	X	X	X	X	X
GUATEMALA	RVSPM	PM	X	-	X	X	X
HONDURAS	THRH	TR	X	X	-	-	X
HONDURAS	SBWEMR	SB	X	X	X	X	X
Total			8	7	9	9	11
ECOME 1 (1-9 septiembre 2013)							
ECOME 2 (27-28 febrero - 6 marzo 2014)							
ECOME 3 (22-28 agosto 2014)							
ECOME 4 (9-17 septiembre 2015)							
ECOME 5 (29 agosto - 6 septiembre 2016)							

Para llevar a cabo los cinco ejercicios de conectividad (ECOME 1-5), se requirieron 93 días aproximadamente, de los cuales de 43 a 57 días se invirtieron en las labores de campo. La estimación del tiempo invertido para las labores de campo comprendiendo los siguientes aspectos: *i)* preparativos para organizar la logística interna, *ii)* traslado al lugar de trabajo seleccionado, *iii)* armado y marcaje de los 20 CCAs, *iv)* ubicación de estaciones, *v)* colocación de los equipos, *vi)* operación de revisión diaria de CCAs, *vii)* captura de datos en bitácoras, *viii)* toma de fotografías de ejemplares capturados, *ix)* recuperación de todos los CCAs, y *x)* limpieza y almacenaje de los equipos utilizados.

Para la ejecución de los cinco ejercicios intervinieron 191 personas directamente en labores de campo (Tabla 2). En el caso de los participantes de Guatemala, Sarstún AUMRS y Punta Manabique RVSPM, las labores de campo implicaron mayor complejidad debido a la lejanía de los sitios de muestreo y la naturaleza de sus arrecifes, localizados de 6-15 metros de profundidad, en ambos casos la tarea de revisión diaria de colectores implicó el uso de buceo SCUBA.

Tabla 2. Número de participantes en los Ejercicios de Conectividad en el SAM. Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, APFFYB; Parque Nacional Isla Contoy, PNIC; Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos, PNAPM; Reserva de la Biosfera Sian Ka'an: Bahía Ascensión, Bahía Espíritu Santo; Parque Nacional Arrecifes de Xcalak, PNAX; Bacalar Chico Marine Reserve, BCMR; Turneffe Atoll Marine Reserve, TAMR; Port Honduras Marine Reserve, PHMR; Área de Uso Múltiple Río Sarstún, AUMRS; Refugio Vida Silvestre Punta Manabique, RVSPM; Zona de Protección Especial Marina Turtle Harbour - Rock Harbour Utila, THRH y Sandy Bay West End Marine Reserve Roatán, SBWEMR.

AMP	APFFYB	PNIC	PNAPM	SKBA	SKES	PNAX	BCMR	TAMR	PHMR	AUMRS	RVSPM	THRH	SBWEMR	TOTAL
	YB	CO	MO	BA	ES	XK	BC	TA	TH	RS	PM	TR	SB	
País	México						Belice			Guatemala		Honduras		TOTAL
ECOME 1		3		3	3	4			4	4	4	5	4	34
ECOME 2		NP		3	3	4		3	4	4	NP	4	3	28
ECOME 3	4	3		3	NP	4		4	4	4	4	NP	3	33
ECOME 4	4	3		NP	4	4	4	NP	3	4	5	NP	6	37
ECOME 5	4	5	6	NP	2	5	3	NP	3	7	6	9	9	59
NP= No participó													Subtotal	191
Personal administrativo y directores = 12													TOTAL	213
Grupo Conectividad-SAM (MAR Fund 3, NOAA-U.Miami 2, ECOSUR 5) = 10														

El personal que participó en las labores de campo tuvo perfiles multifacéticos e incluyeron a biólogos, guardaparques, estudiantes, lancheros con conocimiento de sus respectivas áreas, especialistas en taxonomía, ecología, oceanografía, pesquerías; junto con voluntarios y personal de ONG. En los cinco ejercicios de conectividad participaron un total de 213 personas, de las cuales, 191 fueron personal de campo, 12, personal administrativo y directores de las distintas AMP y 10 conformando el grupo de Conectividad-SAM (Tabla 2).

3.1. Abundancia de postlarvas de peces en el SAM

Un total de 1773 postlarvas y juveniles de peces fueron capturados en los cinco ejercicios de conectividad pertenecientes a 28 familias, 56 géneros y al menos 75 especies (Tabla 3). La mayoría de las especies fueron estadios de postlarvas, aunque también se registraron larvas muy pequeñas y juveniles. En general, la mayor contribución en abundancia fue dada por los "puffers" o botetes, *Canthigaster rostrata* (Bloch, 1786), que fueron recolectados en prácticamente todas las AMP. El ECOME 2 registró la menor abundancia, y en este ejercicio participaron solo siete AMP (Tabla 1). En el ECOME 3, incrementó la abundancia de peces, equiparable a la del ECOME 1 debido a la contribución del "Atlantic bumper", también conocido como horqueta del Atlántico, *Chloroscombrus chrysurus* (Linnaeus, 1766) recolectado en Punta Manabique (RVSPM) en Guatemala. En el ECOME 4, en todas las AMP la abundancia fue menor, excepto en Yum Balam (APFFYB), ubicada en la parte más norteña del Mesoamericano que contribuyó con un 44% del total colectado de todo el Mesoamericano. En el último ejercicio, ECOME 5, la abundancia de postlarvas incrementó significativamente y fue la más elevada de todos los ejercicios, aquí los "puffers" o botetes, *C. rostrata*, tuvieron una contribución superior al 65% de la captura total (Tabla 3).

Tabla 3. Composición taxonómica y abundancia de peces (postlarvas y juveniles) registrados en ECOME 1 (1-9 septiembre, 2013), ECOME 2 (27 febrero-6 marzo, 2014), ECOME 3 (22-28 agosto, 2014), ECOME 4 (9-17septiembre, 2015) y ECOME 5 (29-31 agosto a 6 septiembre, 2016).

Nombre común	Familia	Especie	ECOME					Total
			1	2	3	4	5	
sargassumfish	Antennariidae	<i>Histrio histrio</i>	0	0	0	1	0	1
batfish	Ogcocephalidae	<i>Ogcocephalus</i> spp.	0	0	0	2	0	2
flat needlefish	Belonidae	<i>Ablennes hians</i>	0	0	2	0	0	2
needlefish		<i>Strongylura</i> spp.	0	0	1	1	0	2
flyingfish	Exocoetidae	<i>Cheilopogon</i> sp.	1	0	0	0	0	1
	Hemiramphidae	<i>Hemiramphus</i> spp.	0	0	0	2	2	4
trumpetfish	Aulostomidae	<i>Aulostomus maculatus</i>	1	1	2	1	0	5
brotula	Bythitidae	<i>Ogilbia</i> sp.	1	0	0	0	0	1
pipefish	Syngnathidae	<i>Bryx</i> sp.	0	0	1	0	0	1
dwarf seahorse		<i>Hippocampus zosterae</i>	1	0	0	0	0	1
pipefish		<i>Syngnathus</i> sp.	0	0	1	0	0	1
bridle cardinalfish	Apogonidae	<i>Apogon aurolineatus</i>	14	2	2	0	0	18
cardinalfish		<i>Apogon mosavi</i>	0	0	0	0	9	9
pale cardinalfish		<i>Apogon plannifrons</i>	0	0	0	0	8	8
twospot cardinalfish		<i>Apogon pseudomaculatus</i>	0	0	0	0	1	1
sawcheek cardinalfish		<i>Apogon quadrisquamatus</i>	0	0	0	0	1	1
belted cardinalfish		<i>Apogon townsendi</i>	0	0	0	0	2	2
		<i>Apogon</i> spp.	0	1	3	9	3	16
		<i>Astropogon</i> sp.	0	0	0	0	1	1
dusky cardinalfish		<i>Phaeoptyx pigmentaria</i>	0	0	0	2	1	3
yellow jack	Carangidae	<i>Caranx bartholomaei</i>	0	0	0	0	28	28
blue runner		<i>Caranx crysos</i>	0	0	0	4	5	9
horse-eye jack		<i>Caranx latus</i>	3	0	0	0	0	3
bar jack		<i>Caranx ruber</i>	0	0	0	10	11	21
		<i>Caranx</i> spp.	16	17	17	5	10	65
Atlantic bumper		<i>Chloroscombrus chrysurus</i>	38	0	203	44	4	289
mackerel scad		<i>Decapterus macarellus</i>	2	0	2	1	0	5
		<i>Decapterus punctatus</i>	0	0	0	0	5	5
		<i>Decapterus</i> sp.	0	0	1	0	0	1
bigeye scad		<i>Selar crumenophthalmus</i>	0	0	5	0	2	7
schoolmaster snapper	Lutjanidae	<i>Lutjanus apodus</i>	10	0	7	4	6	27
gray snapper		<i>Lutjanus griseus</i>	0	0	0	2	2	4
mahogani snapper		<i>Lutjanus mahogoni</i>	0	0	0	0	1	1
lane snapper		<i>Lutjanus synagris</i>	0	0	4	1	1	6
yellowtail snapper		<i>Ocyurus chrysurus</i>	0	2	1	1	3	7
tidewater mojarra	Gerreidae	<i>Eucinostomus harengulus</i>	0	0	0	4	0	4
		<i>Eucinostomus</i> spp.	2	0	0	0	1	3
porkfish	Haemulidae	<i>Anisotremus virginicus</i>	7	0	0	0	0	7
blue striped grunt		<i>Haemulon sciurus</i>	0	5	0	0	0	5
sailor's choice		<i>Haemulon parra</i>	0	0	0	8	0	8
white grunt		<i>Haemulon plumieri</i>	0	0	0	0	3	3
chere-chere grunt		<i>Haemulon steindachneri</i>	33	0	0	0	0	33
		<i>Haemulon</i> spp.	1	10	0	0	0	11

Tabla 3. Composición taxonómica y abundancia de peces (postlarvas y juveniles) registrados en ECOME 1 (1-9 septiembre, 2013), ECOME 2 (27 febrero-6 marzo, 2014), ECOME 3 (22-28 agosto, 2014), ECOME 4 (9-17septiembre, 2015) y ECOME 5 (29-31 agosto a 6 septiembre, 2016). Continuación.

Nombre común	Familia	Especie	ECOME					Total
			1	2	3	4	5	
spotted weakfish	Sciaenidae	<i>Cynoscion nebulosus</i>	0	0	0	1	1	2
		<i>Cynoscion</i> spp.	0	0	0	28	0	28
		<i>Larimus</i> sp.	0	0	0	1	0	1
reef croaker	Sciaenidae	<i>Odontoscion dentex</i>	0	0	0	0	1	1
		<i>Pareques</i> spp.	0	0	0	3	0	3
		Sciaenidae n.i.	0	0	0	1	0	1
spotted goatfish	Mullidae	<i>Pseudupeneus maculatus</i>	0	1	0	0	0	1
French angelfish	Pomacanthidae	<i>Pomacanthus paru</i>	0	0	0	0	1	1
sergeant-major	Pomacentridae	<i>Abudefduf saxatilis</i>	1	0	6	2	2	11
night sergeant		<i>Abudefduf taurus</i>	0	0	1	0	0	1
		<i>Chromis</i> sp.	0	0	0	0	1	1
reef bass	Serranidae	<i>Pseudogramma gregori</i>	0	0	0	0	1	1
twinpost bass		<i>Serranus flaviventris</i>	0	5	11	8	6	30
bass		<i>Serranus</i> sp.	0	0	1	0	0	1
dwarf wrasse	Labridae	<i>Doratonotus megalepis</i>	2	1	3	0	10	16
slippery dick		<i>Halichoeres bivittatus</i>	0	1	0	0	1	2
social wrasse		<i>Halichoeres socialis</i>	198	7	2	2	2	211
bluehead wrasse		<i>Thalassoma bifasciatum</i>	2	0	0	0	3	5
green razorfish		<i>Xyrichtys splendens</i>	0	1	0	0	0	1
striped parrotfish	Scaridae	<i>Scarus iseri</i>	0	0	0	0	5	5
		<i>Scarus</i> spp.	1	1	1	0	1	4
		<i>Sparisoma viride</i>	0	0	0	0	3	3
spotlight parrotfish		<i>Sparisoma</i> spp.	0	0	4	1	2	7
parrotfish	Gobiidae	<i>Bathygobius soporator</i>	0	0	1	1	0	2
frillfin goby		<i>Bathygobius</i> spp.	0	0	0	1	1	2
goby		<i>Coryphopterus</i> spp.	0	2	0	0	0	2
		<i>Gnatholepis thompsoni</i>	0	0	0	1	0	1
flarenostriil clingfish	Gobiesocidae	<i>Acyrtops amplicirrus</i>	0	2	0	0	2	4
clingfish		<i>Gobiesox</i> sp.	0	0	1	0	0	1
surgeonfish	Acanthuridae	<i>Acanthurus chirugus</i>	0	0	0	0	1	1
		<i>Acanthurus coeruleus</i>	0	0	0	0	3	3
		<i>Acanthurus</i> spp.	0	2	0	0	2	4
	Labrisomidae	<i>Labrisomus</i> spp.	0	0	0	0	3	3
banded blenny		<i>Paraclinus fasciatus</i>	0	0	0	0	3	3
marbled blenny		<i>Paraclinus marmoratus</i>	0	1	6	0	0	7
towfin blenny		<i>Paraclinus</i> spp.	0	0	0	3	1	4
occidental blenny		<i>Starksia occidentalis</i>	1	0	0	0	0	1
blenny	Blenniidae	<i>Hypsoblennius</i> sp.	0	0	0	0	5	5
seaweed blenny		<i>Parablennius marmoreus</i>	0	0	0	7	0	7
molly miller		<i>Scartella cristata</i>	0	0	0	21	0	21
		Blenniidae n.i.	0	1	0	0	0	1
great barracuda	Sphyaenidae	<i>Sphyaena barracuda</i>	0	0	3	1	0	4
		<i>Sphyaena</i> sp.	0	0	0	0	1	1
orangespotted filefish	Monacanthidae	<i>Cantherhines pullus</i>	0	2	0	0	0	2
slender filefish		<i>Monacanthus tuckeri</i>	30	70	14	17	31	162
fringed filefish		<i>Monacanthus ciliatus</i>	1	21	8	2	1	33
Caribbean sharpose-puffer	Tetraodontidae	<i>Canthigaster rostrata</i>	21	35	28	10	436	530
Abundancia total			388	193	345	217	645	1773

A lo largo de los cinco ejercicios ECOME, once familias contribuyeron con el 95% de la abundancia total de postlarvas y juveniles. La mayor contribución fue aportada por la familia Tetraodontidae (“puffers” o botetes) con 29.9%, seguida por las familias Carangidae (“jacks” o jureles y palometas) con 24.4%, Labridae (“wrasses” o doncellas) con 13.3%, Monacanthidae (“filefishes” o lijas) con 11.1% y Haemulidae (“grunts” o roncós) con 3.8%. Las familias Lutjanidae (“snappers” o pargos) y Scaridae (“parrotfishes” o loros), ambas importantes desde el punto de vista económico y ecológico contribuyeron con el 2.5 y 1.1% respectivamente, (Fig. 10).

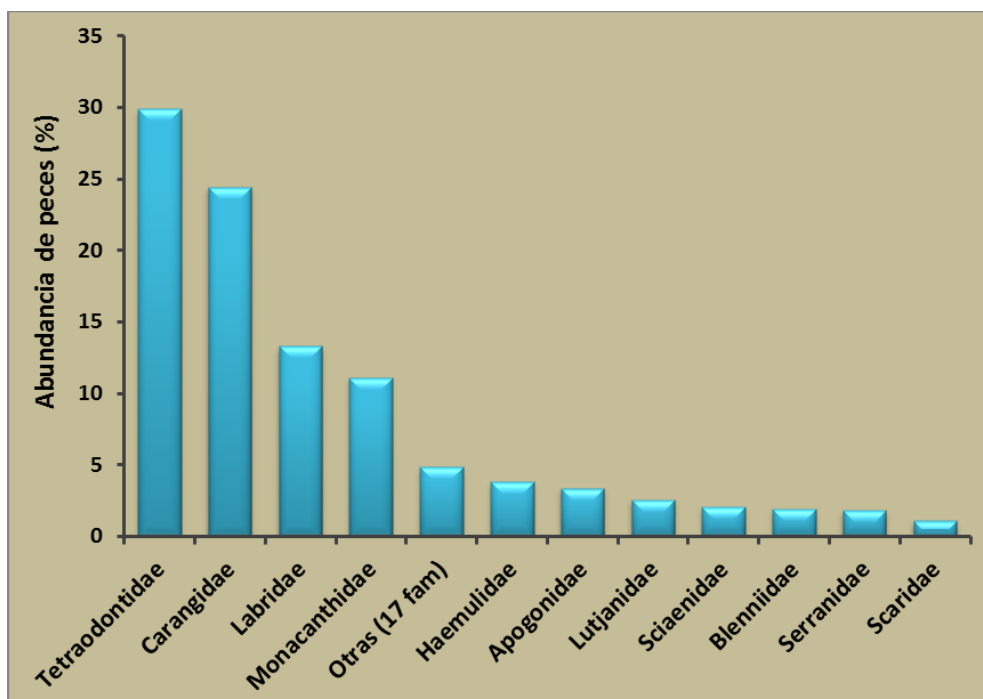


Figura 10. Contribución por familia (abundancia proporcional %) de peces (larvas, postlarvas y juveniles) en el SAM durante los ECOME 1-5.

A nivel de especie, la abundancia fue dominada por seis especies y dos géneros que representaron juntos representaron el 76.3% de la captura total. El 23.7% restante correspondió a 82 taxa (Fig. 11). Las especies *Canthigaster rostrata*, *Chloroscombrus chrysurus* y *Halichoeres sociales* Randall & Lobel, 2003, presentaron las mayores abundancias y fueron registradas en las áreas de Roatán (SBWEMR) en Honduras y en Punta Manabique (RVSPM) en Guatemala. Por su parte, *Monacanthus tuckeri* Bean, 1906, fue cuarto en abundancia y estuvo presente en seis de las diez AMP (Fig. 12).

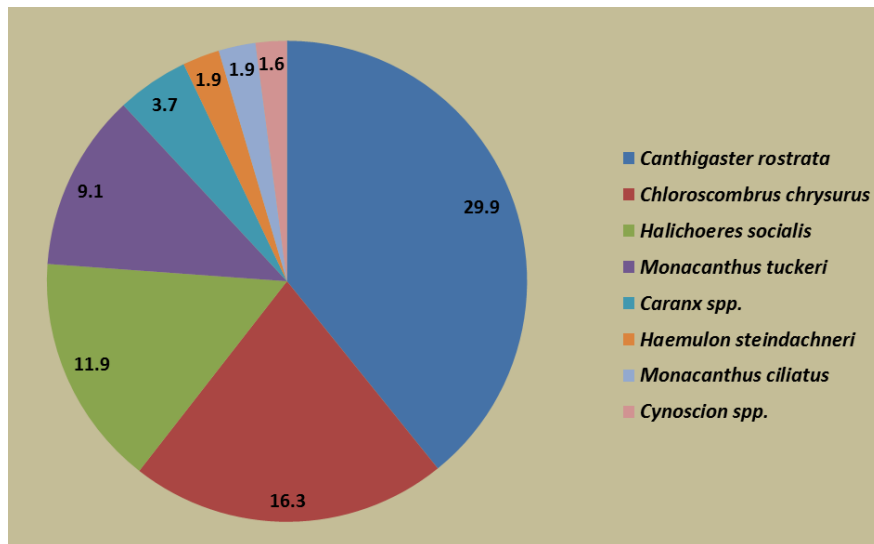


Figura 11. Porcentaje de abundancia (%) de los géneros y especie de peces (larvas, postlarvas y juveniles) más abundantes en el SAM durante ECOM 1-5.

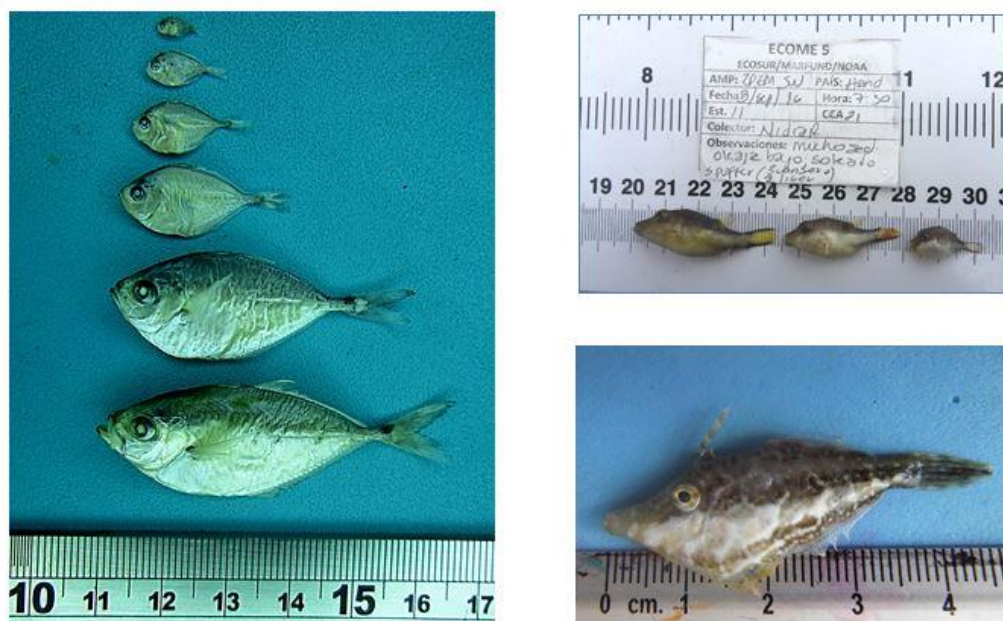


Figura 12. Especies más abundantes en los ECOM 1-5: izquierda: *Chloroscombrus chrysurus* (serie de crecimiento), derecha superior *Canthigaster rostrata* y derecha inferior *Monacanthus tuckeri*.

Un hallazgo notable fue la captura del lábrido “social wrasse” *Halichoeres socialis* (Fig. 13) en el primer ejercicio de conectividad (ECOME 1) en las dos AMPs de Guatemala, específicamente en Punta Manabique (RVSPM), siendo una de las especies con mayor abundancia en la zona. Esta especie es considerada endémica de Belice y se encuentra bien representada y en altas abundancias en el Rhomboidal Cays, un cayo que forma parte de un grupo de islas de manglar ubicadas en la parte central sur de Belice (Smith *et al.*, 2003; Lobel y Lobel, 2011).

Durante el primer ECOME, sus tallas variaron de 13.0 a 39.5 mm de longitud total LT, con una talla promedio de $\bar{x} = 27.6$ mm LT. Con base en su estructura de tallas, se reconocieron tres grupos modales, siendo más abundante el grupo de tallas más pequeñas (Fig. 13b). A partir de los resultados obtenidos en los diferentes ECOME, se generará una nota científica para documentar la ampliación de rango geográfico de esta especie en la región.

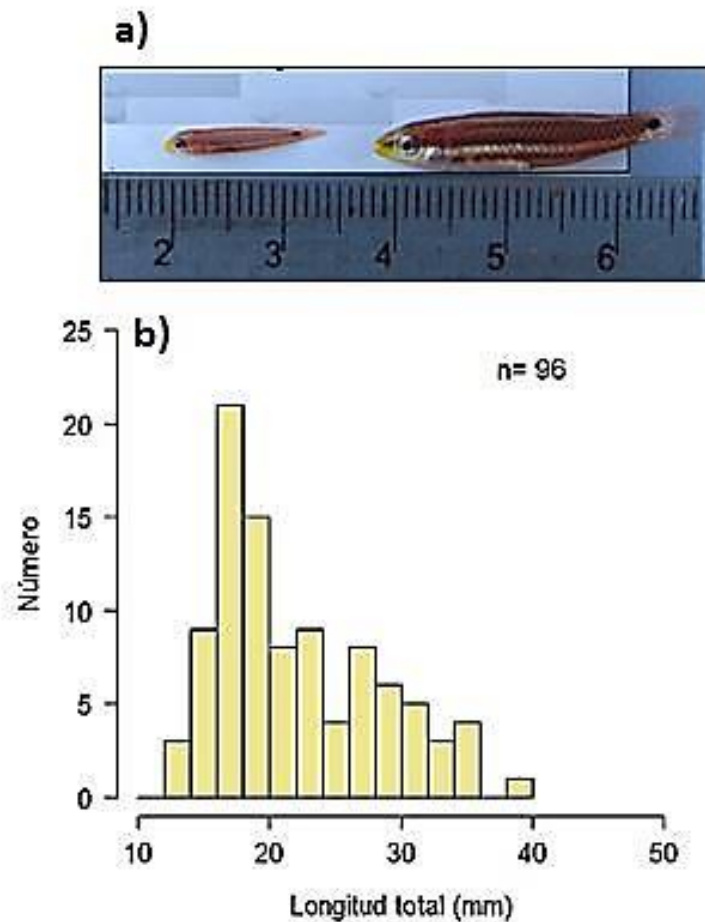


Figura 13. a) *Halichoeres socialis* 12.5 mm y 23.5 mm LE, y b) distribución de tallas de los ejemplares de *H. socialis* (n= 96) capturados en Punta Manabique, Guatemala.

3.2. Abundancia de postlarvas de peces por AMP

La abundancia acumulada por AMP varió de 23 ejemplares en Puerto Morelos (PNAPM) a 538 ejemplares en Punta Manabique (RVSPM) (Fig. 14). En México, Xcalak (PNAX) registró la mayor abundancia con 168 ejemplares y fue la única área mexicana que participó en los cinco ejercicios. En Belice, el área de Bacalar Chico (BCMR) registró la mayor abundancia (98 ejemplares), aunque solo participó en los ECOME 4 y 5. De Belice, sólo el área de Port Honduras (PHMR) participó en los cinco ejercicios de conectividad y tuvo una abundancia de 60 ejemplares. Por su parte, en Guatemala, Punta Manabique (RVSPM) registró las mayores abundancias de postlarvas y juveniles con 538 individuos; mientras que Sarstún (AUMRS) tuvo una menor abundancia, 90 ejemplares, a pesar de que participó en los cinco ejercicios (Figs. 15 A-E). En el caso de Honduras, las mayores abundancias ocurrieron en Roatán (SBWEMR), ésta área también participó en los cinco ECOMES (Fig. 14).

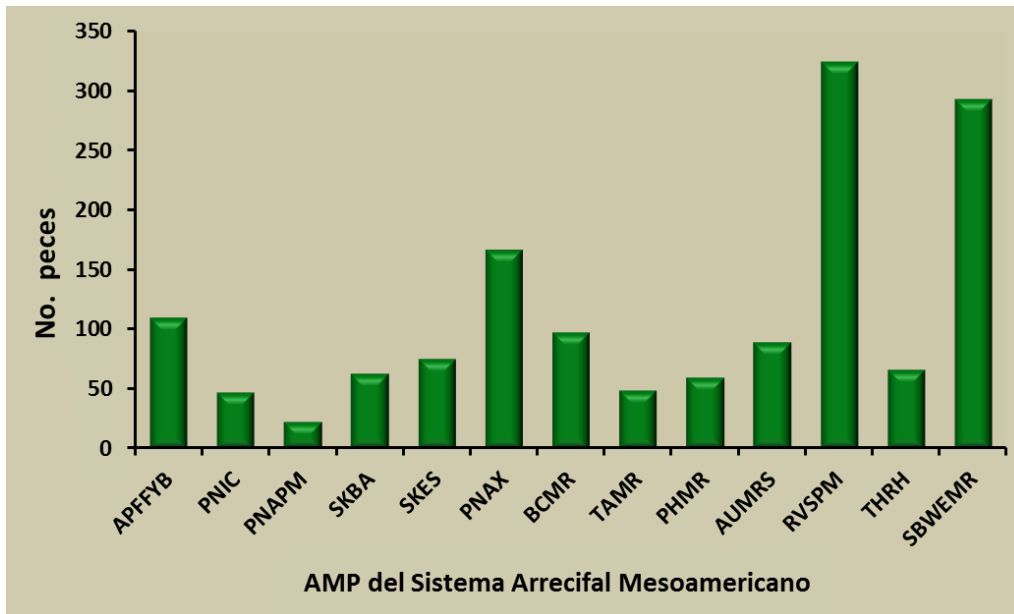


Figura 14. Abundancia total de peces (larvas, postlarvas y juveniles) por AMP para los cinco ejercicios de conectividad. Por México: Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, APFFYB; Parque Nacional Isla Contoy, PNIC; Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos, PNAPM; Reserva de la Biosfera Sian Ka'an: Bahía Ascensión, Bahía Espíritu Santo; Parque Nacional Arrecifes de Xcalak, PNAX. Por Belice: Bacalar Chico Marine Reserve, BCMR; Turneffe Atoll Marine Reserve, TAMR; Port Honduras Marine Reserve, PHMR. Por Guatemala: Área de Uso Múltiple Rio Sarstún, AUMRS; Refugio Vida Silvestre Punta Manabique, RVSPM. Por Honduras: Zona de Protección Especial Marina Turtle Harbour - Rock Harbour Utila, THRH y Sandy Bay West End Marine Reserve Roatán, SBWEMR.

En la figura 15, se representan en mapas las abundancias de postlarvas de peces para cada una de las AMP obtenidas en cada ECOMÉ, considerando un mapa para cada uno de los ejercicios (Fig. 15 A-E) y un mapa con las abundancias promedio de postlarvas de peces arrecifales para cada una de las AMP participantes en los cinco ejercicios (Fig. 15 F). Entre ellas destacan las altas abundancias en Punta Manabique (RVSPM) en Guatemala, las del área de Yum Balam (APFFYB) en México y Roatán (SBWEMR) en Honduras.

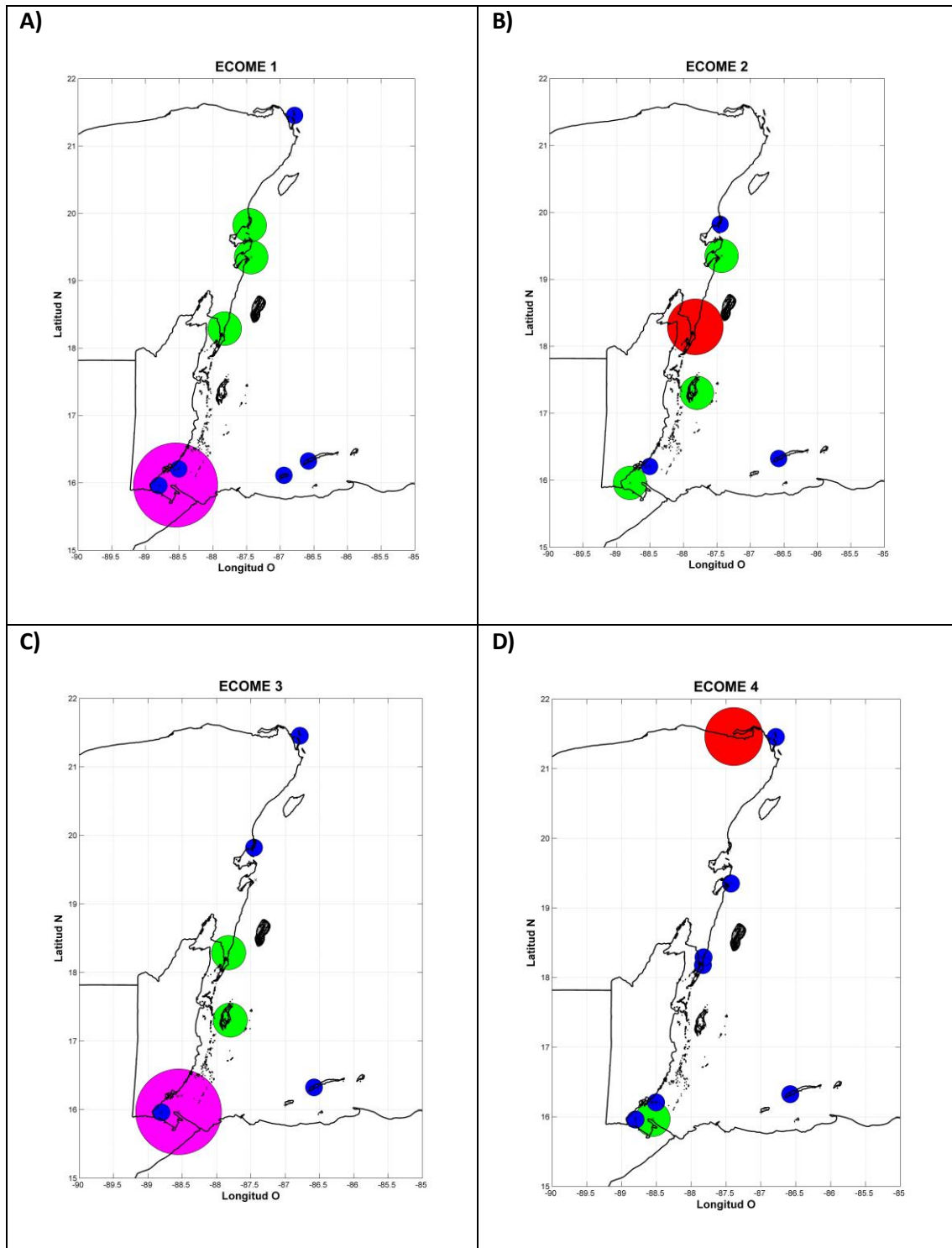


Figura 15. Abundancias de peces arrecifales por AMP en los cinco ejercicios de conectividad: A) ECOME 1, 2013; B) ECOME 2, 2014; C) ECOME 3, 2014; D) ECOME 4, 2015; E) ECOME 5, 2016; F) Abundancia promedio de los cinco ECOME. El tamaño del círculo (●) es proporcional a la abundancia (No. de postlarvas): azul ● (0-20), verde ● (21-60), rojo ● (61-100) y violeta ● (≥101).

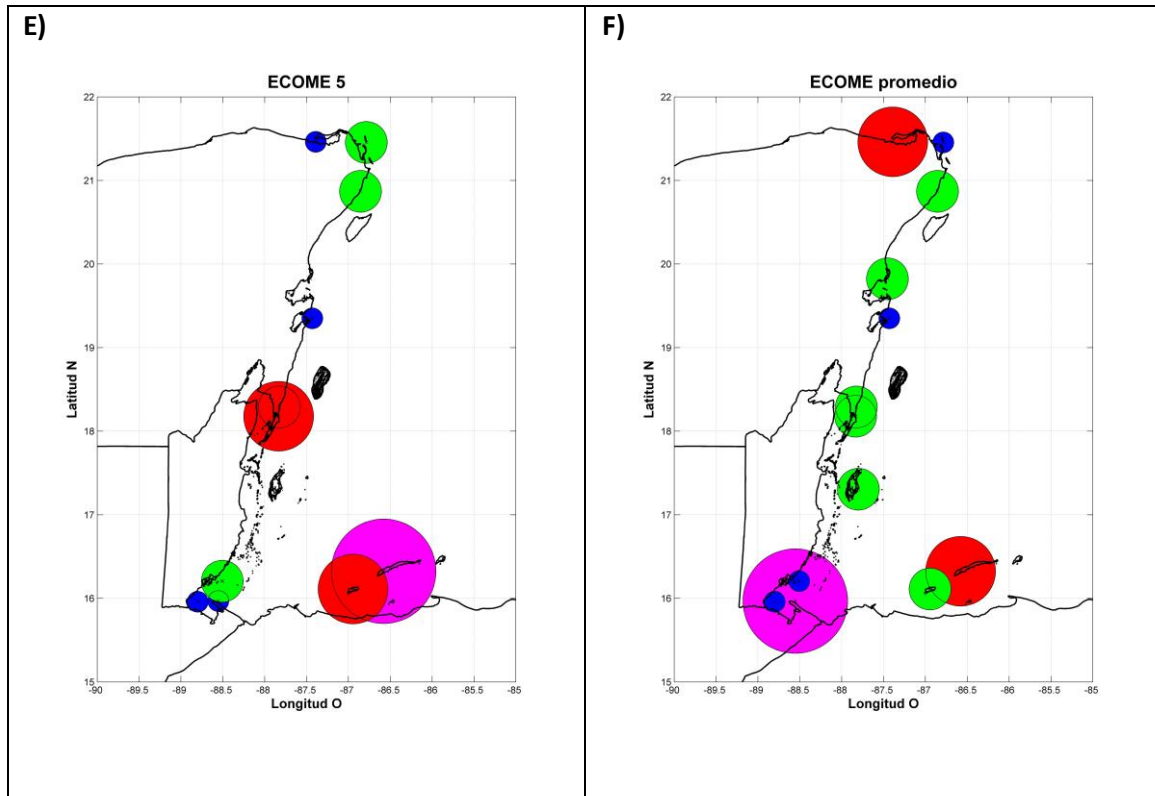


Figura 15. Abundancias de peces arrecifales por AMP en los cinco ejercicios de conectividad: A) ECOMÉ 1, 2013; B) ECOMÉ 2, 2014; C) ECOMÉ 3, 2014; D) ECOMÉ 4, 2015; E) ECOMÉ 5, 2016; F) Abundancia promedio de los cinco ECOMÉ. El tamaño del círculo (●) es proporcional a la abundancia (No. de postlarvas): azul ● (0-20), verde ● (21-60), rojo ● (61-100) y violeta ● (≥ 101). Continuación.

3.3. Abundancia de “puffers” o botetes *Canthigaster rostrata*

Un evento de mortandad masiva de botetes o puffers (*C. rostrata*) fue registrada días previos (27 de agosto, 2016) al inicio del ejercicio ECOMÉ 5 en varias localidades mexicanas del Mesoamericano: al sur de Puerto Morelos, en Tulum, en las partes exteriores de las bahías de la Ascensión y Espíritu Santo en Sian Ka’an así como en Mahahual (Fig. 16).



Figura 16. Mortandad de “puffers” o botetes *Canthigaster rostrata* en Mahahual Q. Roo, México el 28 de agosto del 2016.

Dado que esta mortandad coincidió con el inicio del ECOME 5, se notificó a las AMPs y se les solicitó registrar todas las observaciones con referencia a este evento dentro de sus áreas. Ninguna de las AMP registró peces muertos en sus áreas, aunque hubo capturas considerables de estos peces en los CCAs, los cuales fueron revisados cuidadosamente, asegurándose que los mismos estuvieran vivos. Las abundancias de *C. rostrata* fueron mayores en el ECOME 5 que en los ejercicios previos, éstas ocurrieron en Roatán SBWEMR en Honduras (Fig. 17 y 18). Algunas áreas reportaron como observación una gran cantidad de botetes o “puffers” vivos suspendidos en el agua (Egla Vidotto, Sandy Bay, West End Marine Reserve, comunicación Personal).

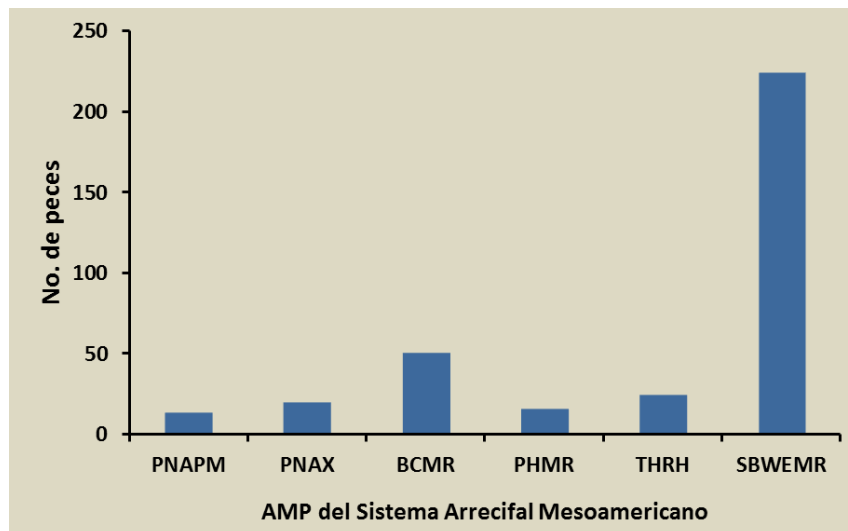


Figura 17. Abundancia de “puffers” o botetes, *Canthigaster rostrata*, durante el ECOME 5 en varias AMP: Puerto Morelos, PNAPM; Xcalak, PNAX; Bacalar Chico, BCMR; Port Honduras, PHMR; Utila, THRH; Roatán SBWEMR.



Figura 18. Grupo de trabajo de Roatán SBWEMR, Honduras.

Todos los “puffers” o botetes *C. rostrata* fueron medidos y fluctuaron entre 11 a 40 mm LE. Se observaron dos grupos de tallas (15 y 30 mm LE) mediante la aplicación del método kernel (línea continua) (Fig. 19).

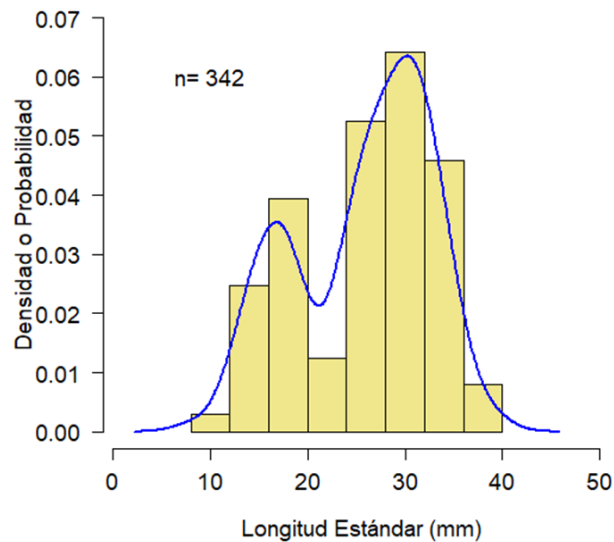


Figura 19. Distribución de tallas de botetes o “puffers” (*Canthigaster rostrata*), durante el ejercicio de conectividad ECOME 5.

3.4. Abundancia de postlarvas de peces por noche de muestreo

El patrón general de la abundancia de postlarvas de peces mostró un creciente incremento hacia la noche de luna nueva, alcanzando abundancias máximas en la tercera noche posterior a la noche de luna nueva para luego disminuir de forma significativa (Fig. 20). Este patrón general es similar al que siguen numerosas especies de peces arrecifales que arriban a las costas a continuar con su ciclo de vida (Robertson *et al.*, 1988). Estas abundancias son acumuladas para los cinco ECOME (Fig. 20).

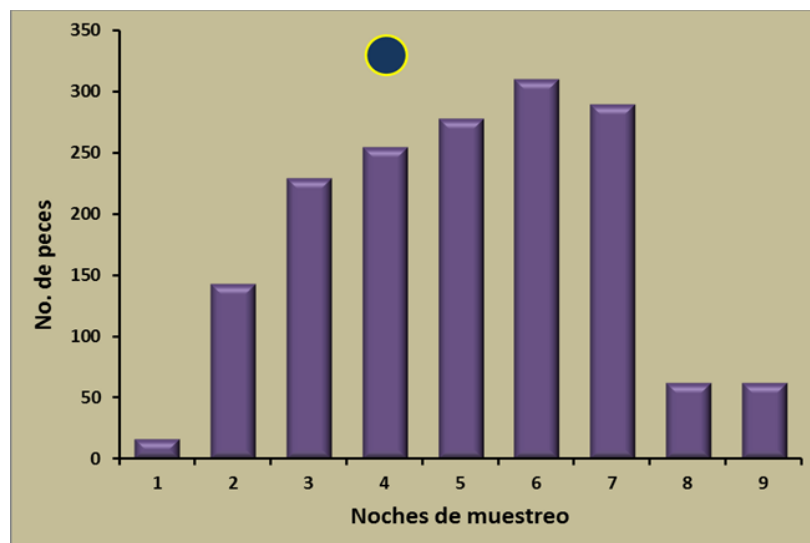


Figura 20. Variación de la abundancia total de peces (larvas, postlarvas y juveniles) capturados en el SAM durante las noches de muestreo para los cinco ejercicios de conectividad. El círculo azul (●) indica noche de luna nueva.

3.5. Riqueza de especies por ejercicio ECOME

La riqueza específica prácticamente varió de 21 especies en el ECOME 1 a 45 especies en el ECOME 5 (Fig. 21). Este resultado está directamente relacionado con la participación de un mayor número de AMPs, ya que en el ECOME 5 participaron once, mientras que en los dos primeros ejercicios ECOME participaron ocho y siete AMP, respectivamente (Tabla 1).

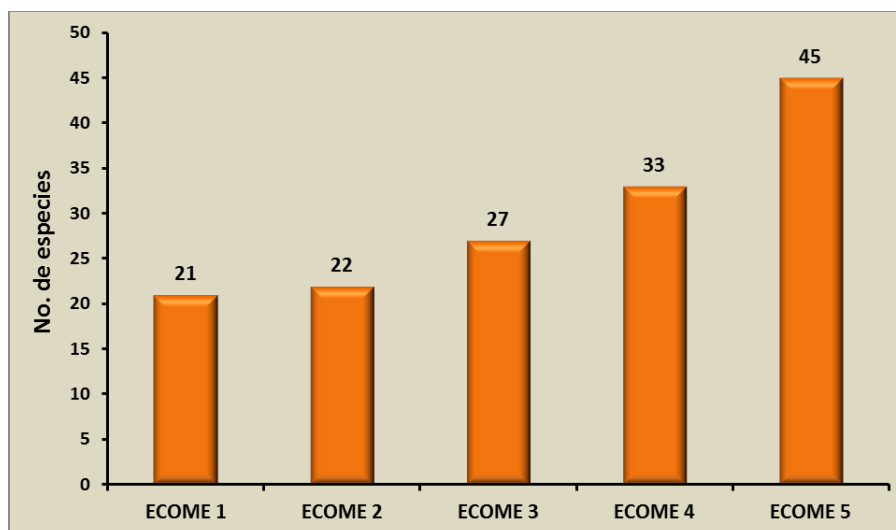


Figura 21. Riqueza de especies en cada ejercicio de conectividad en el SAM.

3.6. Riqueza de especies por AMP en el SAM

La riqueza de especies por AMP varió de seis especies en Puerto Morelos (PNAPM) a 20 especies en Xcalak (PNAX) (Fig. 22). Los bajos valores de riqueza en PNAPM y Turneffe (ATMR) se explican debido que solo han participado en uno y dos ejercicios ECOME respectivamente. La participación de PNAPM fue reciente (ECOME 5). Los valores más altos de riqueza de especies ocurrieron en las AMP de México: Contoy (PNIC) e Xcalak (PNAX) con 19 y 20 especies respectivamente. Un resultado sobresaliente fue la alta riqueza de especies registrada en Utila (THRH) Honduras; su participación fue significativa en el ECOME 5, donde se recolectaron varias especies no registradas previamente en ninguna de las otras áreas y ejercicios (Tabla 3).

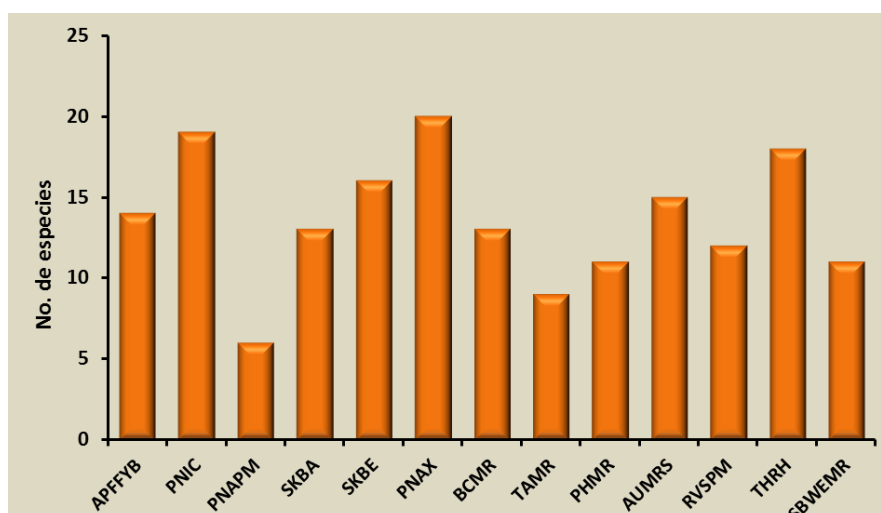


Figura 22. Riqueza de especies por área marina protegida del SAM

Con al menos ocho especies cada una, las familias Carangidae (“jacks” jureles-pámpanos) y Apogonidae (“cardinalfishes” o cardenales) fueron las mejor representadas en el Mesoamericano, durante los ECOMES analizados. La mayor ocurrencia de especies de jureles fue en AMPs de México; mientras que los peces cardenales estuvieron ausentes en las áreas de Guatemala. Con al menos cinco especies cada una estuvieron representadas las familias Labridae (“wrasses” o doncellas), Lutjanidae (“snappers” o pargos), Haemulidae (“grunts” o roncós) y Sciaenidae (“croakers” o corvinas). La familia Sciaenidae fue exclusiva de Yum Balam (APFFYB), con excepción de un ejemplar capturado en el Sarstún (AUMRS) (Tabla 3). Por su parte, en las AMPs de Guatemala (Fig. 23) hubo una fauna peculiar conformada por varias especies no registradas en ninguna otra parte del Mesoamericano como es el caso de *H. socialis*, *Haemulon steindachneri*, *Anisotremus virginicus* y *Serranus flaviventris* (Fig. 24), todas ellas capturadas periódicamente en cada ejercicio ECOME y con buena representatividad (Tabla 3).

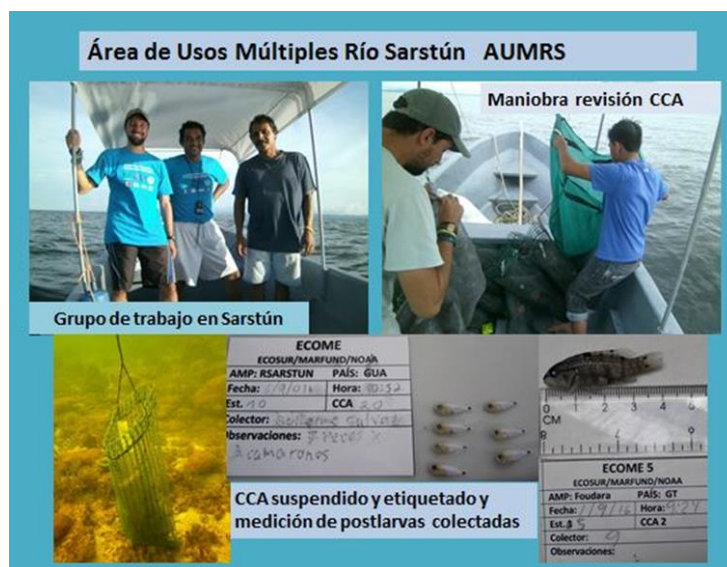


Figura 24. Grupo de trabajo AUMRS, Guatemala.

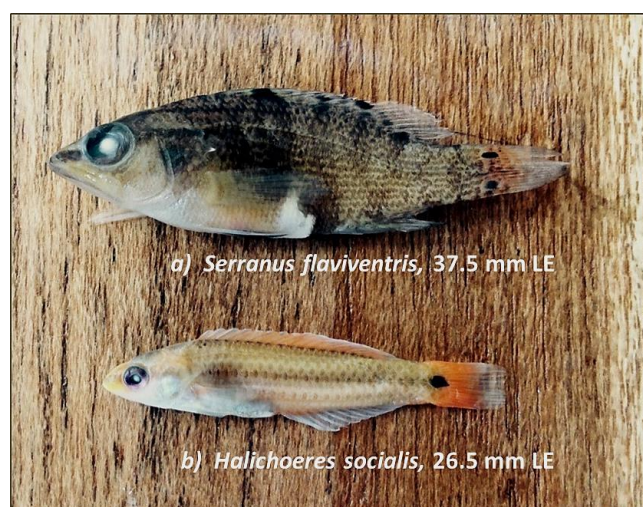


Figura 23. Especies exclusivas de Guatemala (AUMRS y RVSPM) durante los ECOMES.

3.7. Parámetros físicos a partir de sensores de temperatura

De los tres sensores de presión entregados a las áreas de Port Honduras (PHMR), en Belice; en Punta Manabique (RVSPM) en Guatemala y Roatán (SBWEMR) en Honduras, solo se logró con éxito obtener la serie de tiempo de temperatura correspondiente a Belice (Figs. 25 y 26). Los sensores de las otras áreas lamentablemente se reportaron desaparecidos y no fue posible contar con información para esas áreas. En general, los datos de temperatura obtenidos en Belice nos permitieron observar una clara variación estacional, junto con oscilaciones de periodo más corto (diurnas) y eventos que correspondieron probablemente a tormentas.

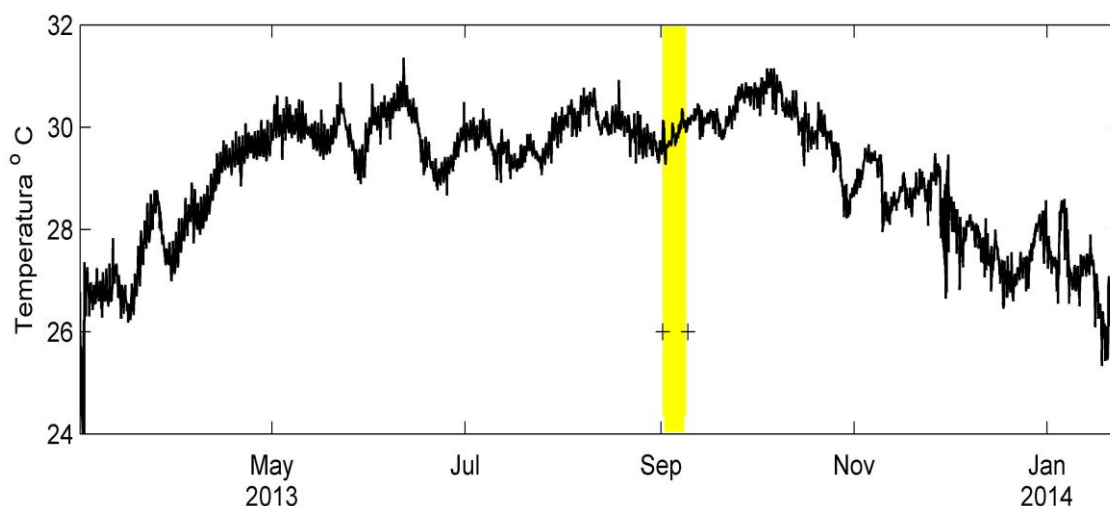


Figura 25. Serie de temperatura del agua en el período mayo de 2013 a enero de 2014, para Port Honduras, PHMR en Belice. Las fechas del ECOM 1 (1-9 de septiembre 2013) se muestran en amarillo.



Figura 26. Grupo de trabajo de PHMR, Belice.

Las series de tiempo de temperatura marina para los sitios Contoy (PNIC) e Xcalak (PNAX), México durante los días de los ejercicios ECOMÉ 1, 2 y 3 se muestran en la figura 27. Estos sensores de temperatura, pertenecen a proyectos relacionados con observaciones de largo plazo de variables oceanográficas del Departamento de Sistemática y Ecología Acuática de la Unidad Chetumal a cargo de la Dra. Laura Carrillo. Estos datos fueron descargados y procesados generando una base de datos y algunos gráficos (Figura 25 y 27). La temperatura en general mostró una variación diurna esperada en los dos sitios, sin embargo, cada AMP presentó diferentes amplitudes. Otro aspecto importante, es que la temperatura de cada sitio parece responder de manera diferente a fenómenos que exhiben otra periodicidad, por ejemplo en la figura 27 a) PNAX y 27 b) PNIC.

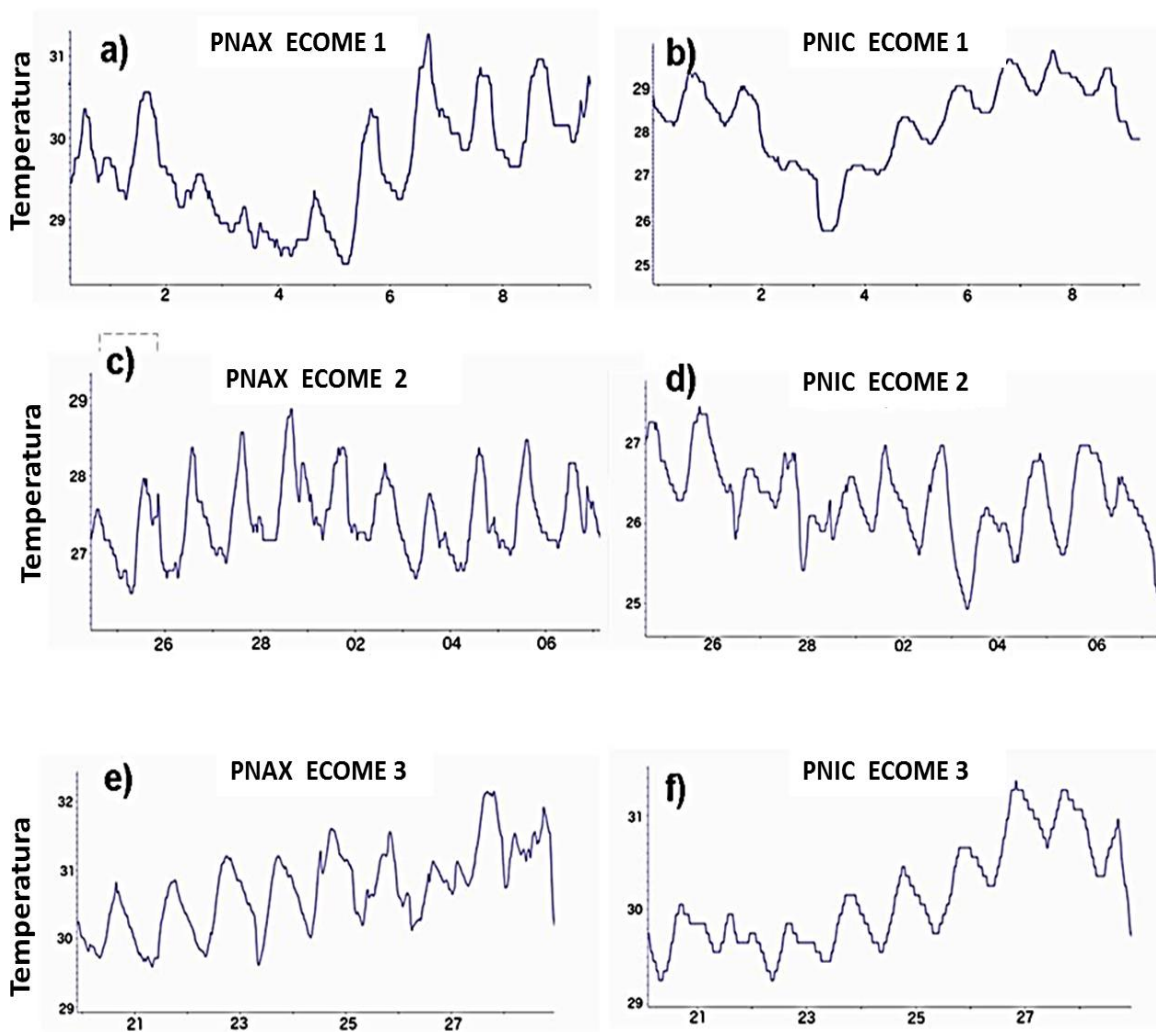


Figura 27. Temperatura (°C) registrada por sensores instalados en dos AMP: Xcalak, PNAX (panel derecho) y Contoy, PNIC (panel izquierdo) durante los días del ECOMÉ 1 del 2-7 de septiembre, 2013; ECOMÉ 2 del 27 de febrero al 6 de marzo 2014; y ECOMÉ 3, del 22-28 de agosto 2014.

4. CONCLUSIONES SOBRE LOS CINCO EJERCICIOS DE CONECTIVIDAD ECOME 1-5

Del conjunto de resultados de las actividades promovidas por el grupo de Conectividad en el período analizado, destaca como el logro más sobresaliente haber completado cinco ejercicios de conectividad: experimentos simultáneos y estandarizados sobre el reclutamiento de postlarvas y juveniles tempranos de peces (Anexo 4), en varias AMPs distribuidas en la región del Arrecife Mesoamericano. Esto fue posible gracias a la participación de un gran número de personas ligadas al manejo y administración de las AMPs; así como a organizaciones e instituciones de los cuatro países que conforman el Arrecife Mesoamericano. Lo anterior denota que, la construcción y desarrollo de esta iniciativa ha descansado en una rica y diversa base de recursos humanos e institucionales comprometidos con la conservación de los recursos naturales de la región. Además, ha requerido contar también con una relativamente modesta cantidad de recursos monetarios, a partir de un fondo inicial aportado por la NOAA, a través del “International Coral Reef Conservation Program”. Este fondo semilla, facilitó la coordinación y arranque de este primer esfuerzo colaborativo de investigación en once AMP de los países integrantes del Arrecife Mesoamericano. Desde 2014, MAR Fund ha aportado fondos adicionales para fines de capacitación, compra de equipos menores y ejecución de los ECOME. Para la ejecución exitosa de los cinco ECOMES, el factor humano y la metodología utilizada fueron fundamentales. Para el factor humano, el personal capacitado de las AMPs ha sido esencial para coleccionar la valiosa información que nutre este informe. Mientras que la estandarización del muestreo, utilizando colectores de columna de agua (CCAs) como arte selectivo, dirigido a la recolecta de estadios tempranos de peces (larvas, postlarvas y juveniles tempranos), fueron muy útiles debido a su bajo costo, fácil instalación y revisión. Los resultados obtenidos a la fecha en estos ejercicios ECOME, constituyen un apoyo adicional al empleo de estos colectores con objetivos clave de monitoreo del reclutamiento de peces de importancia ecológica y pesquera. Esto último, en la misma línea del trabajo pionero de Yam Poot (2013), que se limitó a dos áreas del Caribe Mexicano. Los resultados de los ECOME, proveen evidencia del potencial uso de los CCAs como arte de muestreo en investigaciones a escala regional de los procesos de reclutamiento de peces de arrecife y su relación con factores físicos y biológicos.

Este esfuerzo de colaboración, a través de estos cinco ejercicios simultáneos, generaron la primera lista de larvas, postlarvas y juveniles tempranos de peces del Arrecife Mesoamericano, que da cuenta de 28 familias, 56 géneros y al menos 75 especies.

Un hallazgo importante en esta lista de especies fue la presencia del lábrido *H. socialis* en dos áreas de Guatemala, AUMRS y RVSPM. Hasta ahora esta especie era considerada endémica de Cayo Pelicanos, Belice (Lobel y Lobel, 2011) y está reportada por la IUCN como especie amenazada (Rocha *et al.*, 2015). No existe información sobre los estadios larvales de esta especie pero con base en estudios de otras especies de la misma familia, se considera que podría tener una duración larval de dos a tres semanas. Sus larvas no se han encontrado en muestras del plancton en aguas del Arrecife Mesoamericano (Muhling *et al.*, 2013); ni en muestreos costeros, durante el monitoreo del arribo de larvas de peces en el sur del Caribe mexicano (Vásquez-Yeomans *et al.*, 2011; Vásquez-Yeomans, datos no publicados).

Con base en esta nueva información, está en proceso la elaboración de una nota científica para documentar la ampliación del rango geográfico de *H. socialis* y aportar mayor información sobre su tipo de hábitat. La información sobre esta especie en Punta Manabique, Guatemala ha sido analizada también por el tipo de hábitat (Gudiel-Corona, 2016). En este trabajo se establece que, *H. socialis* tiene preferencia marcada por hábitats arrecifales y por su importancia se justifica un estudio más detallado sobre sus patrones de distribución espacio-temporales en los ambientes arrecifales de Guatemala.

El esfuerzo de muestreo, durante los cinco ejercicios ECOME, no ha sido uniforme entre las distintas áreas. A pesar de las capacitaciones y los protocolos entregados a todas las áreas, durante el desarrollo de los ejercicios surgieron dudas que fueron resueltas sobre la marcha. Por ejemplo, no todas las áreas comenzaron o concluyeron los ejercicios exactamente en las fechas programadas; sin embargo, en todas las AMP participantes en cada ECOME, se realizó el trabajo de campo en los días centrales del monitoreo: alrededor de la luna nueva, de cada ejercicio, garantizando el muestreo en los días críticos de reclutamiento de peces (Johannes, 1978; Robertson *et al.*, 1988). Las particularidades físicas de cada área, así como el estado del tiempo (viento, oleaje, turbidez) tuvieron impacto en las probabilidades de éxito de los ejercicios. Por ejemplo, Contoy (PNIC), enfrentó dificultades operativas durante el primer ejercicio, ya que prácticamente al segundo día de comenzar el trabajo reportó la pérdida de un buen número de colectores (CCAs); lo que se explica por la fuerte dinámica física (corrientes) que ahí prevalece (Carrillo *et al.*, 2015, 2016).

El área de Yum Balam (APFFYB) participó en tres ejercicios (ECOME 3, 4 y 5). En el ECOME 3 no se obtuvo información debido a que los colectores fueron emplazados en sitios inadecuados (pobre comunicación con el mar). Sin embargo, en el ECOME 4 el cambio en la localización de las estaciones de muestreo produjo altas capturas de larvas y postlarvas de peces. De hecho, el APFFYB aportó más del 40% de la captura total de postlarvas del ECOME 4. La riqueza de especies también aumentó en ésta área, al estar en la frontera norteña del SAM bajo fuerte influencia de la fauna del Golfo de México, en especial, de peces de la familia Sciaenidae. Otra característica distintiva de ésta APFFYB, fue la alta abundancia de larvas de tallas muy pequeñas (1.9 a 3.0 mm LE), estos fueron los ejemplares más pequeños capturados en todos los ejercicios ECOME. Estas pequeñas larvas son evidencia directa de la importancia de Yum Balam como área de desove de varias especies de corvinas, principalmente. No existe información adicional sobre la importancia de Yum Balam como área de desove de peces, excepto los aquí mostrados, por lo que está en curso un trabajo sobre el análisis genético de huevos de peces (<http://www.boldsystems.org/>), un avance del mismo da cuenta de la importancia de ésta área para el desove del “hogfish” o boquinete, *Lachnolaimus maximus* (Walbaum, 1792), un valioso recurso pesquero en la región del Caribe que actualmente está clasificado como vulnerable por la IUCN (Choat *et al.*, 2010).

El cuarto ejercicio de conectividad (ECOME 4) se realizó durante los meses críticos de un evento de arribazón de sargazo en la región (Fig. 28). Este evento se presentó a todo lo largo del SAM, con particular efecto en las áreas del centro y sur del Caribe mexicano y Belice. En general, durante este ejercicio hubo bajas capturas de peces en todas las áreas marinas participantes, respecto a ejercicios previos, con excepción de Yum Balam (APFFYB), que coincidentemente no resultó afectada por la arribazón de sargazo. No tenemos suficientes elementos para establecer una relación causa-efecto entre las bajas capturas de postlarvas de

peces y el abundante sargazo, sin embargo, es muy probable que los efectos posteriores al arribazón de sargazo pudieran ocasionar el deterioro de hábitats críticos (pastos marinos y manglares) para el reclutamiento de varias especies de peces. No hay información en la literatura que documente esta posible relación.



Figura 28 Arribazón de sargazo en septiembre 2015 en AMPs del SAM

Un producto importante sobre los resultados preliminares de los primeros ejercicios ECOMO (septiembre 2013, febrero-marzo 2014 y agosto 2014) en el SAM se presentaron en la 67th Gulf and Caribbean en Barbados (Malca *et al.*, 2015). Este trabajo difunde los avances del esfuerzo regional de las AMP en el monitoreo de postlarvas de peces arrecifales, información que sentará una línea base, para la región, sobre el reclutamiento de algunas especies importantes, desde los puntos de vista ecológico y económico.

Durante el último ejercicio (ECOMO 5), se presentó una mortandad de “puffers” o botetes, *Canthigaster rostrata*, en algunas localidades norteñas del Mesoamericano. Esto influyó significativamente en las capturas de estadios tempranos de peces en los CCAs reportadas en las diferentes AMP. El dato más notable al respecto fue la elevada abundancia de “puffers”, 436 ejemplares, en Roatán (SBWEMR) Honduras. Aunque se capturaron numerosos individuos de botetes en los colectores de SB, la mayoría fueron liberados vivos, después de medirlos y fotografiarlos. Este evento de mortandad no es nuevo, ya ha sido reportado en México en, Puerto Morelos y Tulum (Jordán-Garza *et al.*, 2009), y también en Colombia, donde se registraron mortandades abrumadoras de esta especie en 2013 (Pérez-Lopera *et al.*, 2013). Este evento también se registró en Roatán en Honduras en mayo del 2014 (Gisselle Brady, Sandy Bay, West End Marine Reserve Com. Personal). Hasta el momento se desconocen las causas de estas mortandades.

Por su importancia ecológica, hay tres aspectos que destacan en los resultados de los recientes ejercicios de conectividad. El primero consiste en la relativa ausencia de postlarvas o reclutas de peces herbívoros de la familia Scaridae (loros). Esto es preocupante, por la importante función que tienen estos peces, fundamentales para la salud del ecosistema coralino porque, son los limpiadores naturales de los corales ya que al consumir algas evitan el deterioro y

muerte de los mismos. La ausencia de peces loro en los ejercicios recientes de conectividad, contrasta con los resultados de Yam-Poot (2013) quien reportó abundancias relativamente altas de postlarvas y pequeños juveniles de peces loro en Sian Ka'an (SKBA) y en Xcalak (PNAX). Los muestreos de Yam-Poot (2013) fueron realizados en 2004, nueve años antes del primer ejercicio de conectividad (septiembre 2013), usando los mismos colectores y metodología. Otro estudio realizado en Bacalar Chico (en área mexicana y frontera con Belice), reportó también la presencia de loros aunque no menciona su abundancia (Vásquez *et al.*, 2011). Un estudio relativamente reciente sobre los ensambles de larvas de peces en el Mesoamericano, reportó una elevada abundancia de larvas de loros frente a las costas de Quintana Roo y Belice en 2006 y 2007 (Muhling *et al.*, 2013).

El segundo aspecto tiene que ver con un grupo de especies de alto valor económico, como son los pargos, miembros de la familia Lutjanidae. Estos peces estuvieron prácticamente ausentes en las capturas durante los cinco ejercicios de conectividad ECOME. Sin embargo, en los muestreos de 2004, efectuados en SKBA y PNAX, México, las postlarvas de pargos fueron la segunda familia más abundante (Yam-Poot, 2013). Por ahora no se tiene una explicación para esta ausencia. Con base en lo anterior, se identifica como asunto pendiente de interés ecológico y que amerita esfuerzos de investigación adicionales, la revisión del estado de las poblaciones de loros y pargos en las AMP del Arrecife Mesoamericano.

El tercer aspecto se refiere a la notable ausencia de postlarvas, reclutas y juveniles tempranos del pez león, *Pterois volitans* Linnaeus, 1758, durante los ejercicios ECOME. La presencia del pez león en el SAM fue registrada por primera vez en Belice a finales del 2008 y consecutivamente en toda la región del Caribe (Schofield, 2010). Los desoves de pez león también han sido documentados en la región del SAM, debido a que sus larvas han sido capturadas durante una serie de cruceros oceanográficos desde el 2010 hasta el 2016 (Vásquez-Yeomans *et al.*, 2011). A pesar de que los ejercicios ECOME se realizaron en hábitats someros de pastos marinos y arrecifes, que se presume son ambientes potenciales para el asentamiento del pez león (Claydon *et al.*, 2012) ninguna postlarva ni juvenil fue capturado en los CCA.

Después del análisis de los resultados presentados, concluimos que al menos desde el punto de vista taxonómico y ecológico, las áreas de Yum Balam (APFFYB) en México, Río Sarstún (AUMRS) y Punta Manabique (RVSPM) en Guatemala, contienen una fauna distintiva del resto de las áreas del Mesoamericano. Esto seguramente puede explicarse por la localización geográfica de ellas, así como por la dinámica propia de las especies que ahí ocurren. El resto de las áreas comparten similitudes en cuanto a la composición taxonómica de sus especies. Sin embargo, un análisis multivariado deberá aplicarse para demostrar estas aseveraciones.

Como reflexión final, es un verdadero logro de colaboración haber efectuado cinco ejercicios ECOME a pesar de las limitaciones financieras enfrentadas durante la preparación y ejecución de tales ejercicios. En este punto, es importante reconocer el entusiasmo e iniciativa de colaboración de los responsables de las diferentes áreas marinas participantes, sin cuya intervención esta investigación no hubiera sido posible. De igual manera, es preciso reconocer la experiencia y estrecha relación que MAR Fund tiene en la región, con una gran cantidad de AMPs. Esto permitió incidir de forma positiva en todos los procesos, desde la organización y coordinación logística regional, el seguimiento a cada AMP y posteriormente, en la asignación

de fondos semilla para continuar con esta iniciativa. A pesar de las distancias geográficas, del aislamiento de algunas AMPs como Port Honduras (PHMR) en Belice y las áreas de Sarstún (AUSRS) y Punta Manabique (RVSPM) en Guatemala, los resultados contenidos en este informe demuestran que sí es posible trabajar en equipo, de modo colaborativo, para generar información sobre aspectos fundamentales de la Conectividad biológica y física en el Arrecife Mesoamericano.

Un aspecto importante en la interacción del grupo de Conectividad con los miembros de las AMP participantes en los ECOME, fue la realización de una exitosa reunión de trabajo organizada por MAR Fund en Cancún en julio del 2016. En ella se presentó el análisis de resultados obtenidos en los primeros cuatro ECOME. Además, cada una de las AMP expuso sus principales limitaciones y fortalezas en relación a la ejecución de los ECOME, y manifestaron, en todos los casos, su interés en continuar con esta colaboración regional. Esta reunión fue un detonador que se manifestó en el éxito del último ejercicio, ECOME5 (septiembre de 2016), con la participación de once AMP. Fue evidente que todos pusieron su mejor esfuerzo en el campo y en la entrega de resultados; dejando claro que hubo una decisiva participación por parte de las autoridades, directivos y personal de campo de las AMP del Mesoamericano. Ello ilustró de manera contundente la apropiación de esta iniciativa regional por las distintas organizaciones e instituciones participantes de los cuatro países de la región. Este es un resultado a todas luces satisfactorio para la visión inicial del grupo promotor.

5. RECOMENDACIONES DEL GRUPO DE CONECTIVIDAD-SAM

Todos los participantes, incluyendo el mismo grupo de Conectividad, ganaron experiencia como resultado de los cinco ejercicios de conectividad (ECOME). Será necesario considerar en futuros ejercicios la obtención, de fondos suficientes para cada AMP participante (personal, combustible, materiales, alimentos, pasajes/transporte). Además de lo anterior, se ha previsto la necesidad de que el grupo promotor cuente con el apoyo directo de dos responsables de campo, uno para Honduras-Guatemala y otro para México-Belice. Esto permitirá a una mejor coordinación y comunicación más fluida antes, durante y después de los futuros ejercicios. En este sentido, fue difícil dar seguimiento continuo a las áreas de Port Honduras (PHMR) en Belice y en la Utila (THRH) en Honduras. Fue lamentable la ausencia de monitoreo en el área de Turneffe (TAMR), donde no se ha logrado identificar una parte interesada en participar. También se deberán programar, al menos, dos talleres de capacitación sobre la identificación de estadios tempranos de larvas, postlarvas y juveniles de peces arrecifales, bajo el liderazgo de ECOSUR y expertos adicionales. La medición de variables físicas, con entrenamiento en el manejo de sensores, su instalación y recuperación; así como la recuperación de los datos, es otro aspecto fundamental que habrá de ser atendido debidamente en futuros ejercicios de conectividad, se requerirá de al menos la compra de un sensor de presión para cada área marina participante. Aunado a esto, se deberá proporcionar capacitación para el manejo, instalación y recuperación de los equipos oceanográficos, bajo el liderazgo de la Dra. Laura Carrillo de ECOSUR.

Cabe destacar que es muy importante, contar con series de tiempo de los parámetros físicos (temperatura, nivel del mar, corrientes, etc.) en los sitios donde se realizan los experimentos con los colectores de columna de agua. Con esta información, será posible definir la existencia

de eventos relacionados con el reclutamiento de peces arrecifales. Por otro lado, contar con sensores que generen registros simultáneamente a lo largo del SAM, permitirá generar información para conocer la variabilidad asociada a los sistemas arrecifales, separar la variabilidad local y aquella por efecto de fenómenos de mayor escala. En el caso de fenómenos de mayor escala, tendremos conocimiento si se presenta en todas las áreas marinas protegidas con la misma magnitud y, si existe desfase entre ellas, es decir, si en alguna de ellas ocurre primero y calcular el tiempo de retardo de una señal determinada hacia las otras áreas, estableciendo así la conectividad. La serie de tiempo de temperatura, obtenida en Puerto Honduras, nos permite ver la variabilidad existente en ese sitio; el trabajo de colocarlo y revisar periódicamente su localización tiene su recompensa. A la fecha, se está haciendo un esfuerzo por contar con sitios de monitoreo de nivel del mar y temperatura, en Honduras y en Guatemala y, se espera seguir incentivando la colocación de sensores en los sitios de los experimentos ECOME. Es prioritario establecer una red de sensores a lo largo del SAM, para el registro continuo de variables como la temperatura, salinidad, nivel del mar, que operen de manera simultánea. Por fortuna, estos sensores son de bajo costo y pueden permitir su continuidad en el tiempo. Sin embargo, el entrenamiento es fundamental, así como la revisión continua de los equipos.

El acceso a series de tiempo de parámetros físicos permitirá el análisis en conjunto de los procesos físicos con los procesos biológicos y ecológicos; en este caso, el reclutamiento de los peces de arrecife. A futuro se fortalecerá el monitoreo de las fluctuaciones en indicadores del reclutamiento de peces de valor ecológico o comercial, a escala local y regional. Ambos, los cambios físicos y el reclutamiento de peces, son aspectos muy cercanos a las principales actividades humanas en las costas de la región del Arrecife Mesoamericano, como son la pesca y el turismo. De modo que las eventuales aplicaciones de estas actividades de monitoreo, se encuentran a una distancia relativamente cercana de los procesos que considera esta iniciativa regional.

El apoyo continuo de MAR Fund da continuidad a la semilla plantada sobre el tema de conectividad desde los puntos de vista de i) la investigación académica y ii) la potencial aplicación en el manejo regional de las AMP. Esta visión mixta de la conectividad, en el contexto del SAM, se identifica como la piedra angular de los esfuerzos de colaboración regional que ha mantenido unidos a los distintos actores, desde el inicio de esta iniciativa. Al igual que el apoyo de los organizadores, el apoyo del personal de manejo de las Áreas Marinas Protegidas fue indispensable para realizar los cinco ejercicios ECOME. La recomendación final de este grupo de Conectividad-SAM es, continuar con los esfuerzos de investigación para establecer un monitoreo físico-biológico continuo, simultáneo y estandarizado en la región y para lograrlo, el financiamiento es fundamental. Es una prioridad para ECOMES futuros establecer el monitoreo, cuando menos por tres años consecutivos y en dos épocas contrastantes: verano (mayo a agosto), época reproductiva de varias especies de pargos e invierno (diciembre a marzo), época reproductiva de meros, resaltando la importancia de contar simultáneamente y de manera continua con datos de temperatura, salinidad y calidad de agua; dados los eventos de mortalidad masiva de peces en Roatán, Honduras el 3 de mayo de 2014 (Gisselle Brady, Sandy Bay West End Marine Reserve, comunicación Personal) y los observados en el último ECOME (29 de agosto al 6 de septiembre de 2016). Las recientes intrusiones de agua dulce al medio marino, ocurridas en febrero de este año en Punta Herro Sian Ka'an (Liz Tamayo, Cooperativa Cozumel, comunicación Personal), que ocasionaron la

muerte masiva de langostas vivas en cautiverio, con cientos de kilos de peso ocasionó cuantiosas pérdidas económicas a los pescadores de la zona. Estos eventos episódicos de mortalidad de peces y langosta requieren de información sobre variables físico-químicas que permitan determinar las posibles causas.

Los ejercicios de conectividad (ECOMEs), constituyen una pieza clave en el monitoreo de postlarvas de peces arrecifales en la región del SAM y representan. El monitoreo de estos estadios tempranos de peces arrecifales representa un reto metodológico, por las dificultades de trabajar en áreas arrecifales, pero además lo complicado que resulta la identificación de los mismos. Es por ello, que en futuras propuestas de búsqueda de fondos, se debe considerar una partida especial para la identificación de ejemplares con métodos moleculares, que hayan resultado difíciles de identificar por los métodos morfológicos tradicionales. En referencia a la identificación de ejemplares, será necesario re-actualizar del Catálogo de Postlarvas de Peces del SAM, ya que la versión actual, no contiene los nuevos aportes de especies recolectadas en los ECOMÉ 4 y 5, ésta, es una tarea pendiente.

Los resultados generados por esta iniciativa se han nutrido del considerable esfuerzo y del entusiasmo, asociados a la participación de más de 200 personas, bajo una coordinación y capacidad de trabajo sin precedentes para la región del SAM; justifica ampliamente la necesidad de una búsqueda activa de fondos para continuar con las investigaciones acerca del reclutamiento de estadios tempranos de peces arrecifales en la región. Los estudios de estas fases tempranas son fundamentales para la conservación y el manejo de los valiosos recursos de importancia ecológica y pesquera en la región.

6. AGRADECIMIENTOS

A las autoridades, directivos y personal técnico de las once AMP de México, Belice, Guatemala y Honduras, por creer en esta iniciativa conjunta para el SAM. A los estudiantes y voluntarios que participaron en los diferentes ejercicios ECOME. A la CONANP-SEMARNAT en México, por su apoyo con instalaciones y embarcaciones. Al personal de ECOSUR, Selene Morales, José A. Cohuo y Giezi Yam Poot, que contribuyeron en la identificación, medición de ejemplares y captura de datos. Al Dr. John Lamkin y Dra. Trika Gerard de NOAA Southeast Fisheries Science Center por su apoyo con el fondo semilla a través del proyecto “Coral Reef Conservation Program #20528, NOAA SEFSC”. A los directivos de MAR Fund, por apoyar y confiar en esta iniciativa con fondos para la permanencia de los ejercicios de conectividad en el SAM. A la red mexicana de Códigos de Barra de la Vida MEXBOL, que financiaron los análisis genéticos de varios ejemplares. A El Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR, por apoyar este tipo de estudios con fondos fiscales.

7. LITERATURA CITADA

- Almada-Villela, P.C., P.F. Sale, G. Gold-Bouchot, B. Kjerfve. 2003. Manual of Methods for the MBRS Synoptic Monitoring Program. Selected Methods for Monitoring Physical and Biological Parameters for Use in the Mesoamerican Region. Mesoamerican Barrier Reef Ecosystems Project (MBRS). Belize, Belize. 149 pp.
- Carrillo, L., E.M. Johns, R.H. Smith, J.T. Lamkin, J.L. Largier. 2015. Pathways and hydrography in the Mesoamerican Barrier Reef System. Part 1: circulation. *Continental Shelf Research*. 109: 164–176.
- Carrillo, L., E.M. Johns, R.H. Smith, J.T. Lamkin, J.L. Largier. 2016. Pathways and hydrography in the Mesoamerican Barrier Reef System. Part 2: water masses and thermohaline structure. *Continental Shelf Research*. 120: 41–58.
- Carrillo, L., J.T. Lamkin, E.M. Johns, L. Vásquez-Yeomans, F. Sosa-Cordero, E. Malca, R.H. Smith, T. Gerard. 2017. Linking oceanographic processes and marine resources in the western Caribbean Sea Large Marine Ecosystem Subarea. *Environmental Development* 22: 84–96.
- Choat, J.H., D. Pollard, Y.J. Sadovy. 2010. *Lachnolaimus maximus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2010: e.T11130A3252395. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-4.RLTS.T11130A3252395.en>. Descargado el 30 de Julio, 2017.
- Claydon, J., M.C. Calosso, S.B. Traiger. 2012. Progression of invasive lionfish in seagrass, mangrove and reef habitats. *Marine Ecology Progress Series* 448:119–129.
- Ezer, T., D.V. Thattai, B. Kjerfve, W.D. Heyman. 2005. On the variability of the flow along the Meso-American Barrier Reef System: A numerical model study of the influence of the Caribbean current and eddies. *Ocean Dynamics* 55:458-475.
- Gudiel Corona, V. 2016. Diversidad de postlarvas de peces en arrecifes coralinos y pastos marinos del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, Caribe de Guatemala. Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Guatemala, 69 pp.
- Hebert, P.D.N., S. Ratnasingham, J.R. de Waard. 2003. Barcoding animal life: cytochrome c oxidase subunit 1 divergences among closely related species. *Philosophical Transaction Royal Society B. Biological Science*. 270: S96–S99. doi:10.1098/rsbl.2003.0025.
- Hebert P.D.N., A. Cywinska, S.L. Ball, J.R. de Waard. 2003. Biological identification through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society of London B* 270: 313–321. doi: 10.1098/rspb.2002.2218
- Johannes, R.E. 1978. Reproductive strategies of coastal marine fishes in the tropics. *Environmental Biology of Fishes*. 3(1): 65-84.
- Jordán-Garza, A.G., E.M. Diaz-Almeyda, R. Iglesias-Prieto, M.A. Maldonado, J. Ortega. 2009. Mass mortality of *Canthigaster rostrata* at the northeast coast of the Yucatan Peninsula. *Coral Reefs* 28:661.
- Leyva-Cruz, E., L. Vásquez-Yeomans, L. Carrillo, M. Valdez-Moreno. 2016. Identifying pelagic fish eggs in the southeast Yucatan Peninsula using DNA barcodes. *Genome*. 59(12): 1117-1129.

- Lobel, P.S., L.K. Lobel. 2011. Endemic marine fishes of Belize: evidence of isolation in a unique ecological region. In: Palomares, M.L.D., Pauly, D. (eds.), *Too Precious to Drill: the Marine Biodiversity of Belize*, pp. 48-51. Fisheries Centre Research Reports 19(6). Fisheries Centre, University of British Columbia [ISSN 1198-6727].
- Malca, E., L. Vásquez-Yeomans, C. González, V. Gudiel-Corona, F.E. Sosa-Cordero, L. Carrillo, M.J. González. 2015. Capacity building in marine protected areas and connectivity in the Mesoamerican Barrier Reef System: Larval fish recruitment. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. 67:277-283.
- Muhling, B.A., R.H. Smith, L. Vásquez-Yeomans, J.T. Lamkin, E.M. Johns, L. Carrillo, E. Sosa-Cordero, E. Malca. 2013. Larval reef fish assemblages and mesoscale oceanographic structure along the Mesoamerican barrier Reef System. *Fisheries and Oceanography*. 22 (5): 409–428. <http://dx.doi.org/10.1111/fog.12031>.
- Paris, C.B., J. Helgers, E. van Sebille, A. Srinivasan. 2013. Connectivity modeling system: A probabilistic modeling tool for the multi-scale tracking of abiotic and abiotic variability in the ocean. *Environmetal Modelling & Software*. 42:47-54.
- Pérez Lopera, A.J., O. Quimann, A. Colmenares. 2013. Informe de las actividades de monitoreo de peces muertos, realizadas el 04 de Septiembre de 2013, alrededor de la Isla de San Andrés, Colombia. Coralina. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.
- Robertson, D.R., D.G. Green, B.C. Victor. 1988. Temporal Coupling of Production and Recruitment of Larvae of a Caribbean Reef Fish. *Ecology*. 69 (2):370-381.
- Rocha, L.A. 2015. *Halichoeres socialis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T187435A46944387. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T187435A46944387.en>. Descargado el 15 Agosto 2017.
- Sale, P.F., H. Van Lavieren, M.C. Ablan Lagman, J. Atema, M. Butler, C. Fauvelot, J.D. Hogan, G.P. Jones, K.C. Lindeman, C.B. Paris, R. Steneck, H.L. Stewart. 2010. Conservando la Conectividad de los Arrecifes: Guía Para los Administradores de las Áreas Marinas Protegidas. Grupo de Trabajo de Conectividad, Programa de Investigación Dirigido a los Arrecifes de Coral y a la Creación de Capacidades para la Gestión, UNU-INWEH. 92 pp.
- Schofield, P.J. 2010. Update on geographic spread of invasive lionfishes (*Pterois volitans* [Linnaeus, 1758] and *P. miles* [Bennett, 1828]) in the Western North Atlantic Ocean, Caribbean Sea and Gulf of Mexico. *Aquatic Invasions*. 5:S117–S122.
- Sheng, J., L. Tang. 2004. A Two-Way Nested-Grid Ocean-Circulation Model for the Meso-American Barrier Reef System. *Ocean Dynamics*. 54(2): 232–242.
- Smith, C.L, J.C. Tyler, W.P. Davis, R.S. Jones, D.G. Smith, C.C. Baldwin. 2003. Fishes of the Pelican Cays, Belize. *Atoll Research Bulletin* No. 497: <https://doi.org/10.5479/si.00775630.497.1>
- Steele, M.A., J.C. Malone, A.M. Findlay, M.H. Carr, G.E. Forrester. 2002. A simple method for estimating larval supply in reef fishes and a preliminary test of population limitation by larval delivery in the kelp bass, *Paralabrax clathratus*. *Marine Ecology Progress Series* 235:195-203.
- Valdez-Moreno, M.E., L. Vásquez-Yeomans, M. Elías-Gutiérrez, N.V. Ivanova, P.D.N. Hebert. 2010. Using DNA barcodes to connect adults and early life stages of marine fishes from

- the Yucatan Peninsula, Mexico: potential in fisheries management. *Marine Freshwater Research*. 61:665–671. doi:10.1071/MF09222.
- Vásquez-Yeomans, L., L. Carrillo, S. Morales, E. Malca, J. Morris, T. Schultz, J. Lamkin. 2011. First larval record of *Pterois volitans* (Pisces: Scorpaenidae) collected from the ichthyoplankton in the Atlantic. *Biological Invasions*. DOI 10.1007/s10530-011-9968-z
- Vásquez-Yeomans, L., M.E. Vega-Cendejas, J.L. Montero, E. Sosa-Cordero. 2011. High species richness of early stages of fish in a locality of the Mesoamerican Barrier Reef System: a small-scale survey using different sampling gears. *Biodiversity and Conservation*. 20:2379–2392.
- Ward, R.D., T.S. Zemlak, B.H. Innes, P.R. Last, P.D.N. Hebert. 2005. DNA barcoding Australia's fish species. *Philosophical Transaction Royal Society B. Biological Science*. 360: 1847–1857. doi:10.1098/rstb.2005.1716.
- Yam Poot, G.M. 2013. Evaluación de trampas de asentamiento de postlarvas para desarrollar índices de reclutamiento de peces marinos de importancia comercial. Tesis de Licenciatura de Biología. Instituto Tecnológico de Chetumal. Chetumal, Quintana Roo, 96 pp.

Anexo 1.

Relación de coordenadas de las estaciones de colecta para cada una de las AMP participantes en los ejercicios de conectividad ECOME: Yum Balam, APFFYB; Contoy, PNIC; Puerto Morelos, PNAPM; Sian Ka'an: SKBA, SKES; Xcalak, PNAX; Bacalar Chico, BCMR; Turneffe, TAMR; Port Honduras, PHMR; Sarstún, AUMRS; Punta Manabique, RVSPM; Utila, THRH; Roatán, SBWEMR.

Estación	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
AMP	AFFYB		PNIC		PNAPM		SKBA		SKES	
1	21.4586	-87.3829	21.4643	-86.7896	20.8729	-86.8532	19.3525	-87.4342	19.8231	-87.4541
2	21.4588	-87.3846	21.4648	-86.7897	20.8724	-86.8541	19.3535	-87.4358	19.8207	-87.4545
3	21.4589	-87.3852	21.4654	-86.7899	20.8715	-86.8549	19.3534	-87.4358	19.8213	-87.4547
4	21.4590	-87.3858	21.4658	-86.7900	20.8709	-86.8554	19.3508	-87.4341	19.8214	-87.4548
5	21.4595	-87.3874	21.4661	-86.7902	20.8702	-86.8558	19.3577	-87.4368	19.8206	-87.4550
6	21.4600	-87.3889	21.4667	-86.7903	20.8694	-86.8558	19.3591	-87.4386	19.8188	-87.4550
7	21.4609	-87.3904	21.4668	-86.7904	20.8686	-86.8556	19.3600	-87.4399	19.8178	-87.4553
8	21.4615	-87.3918	21.4677	-86.7904	20.8678	-86.8556	19.3623	-87.4412	19.8166	-87.4553
9	21.4622	-87.3929	21.4682	-86.7904	20.8669	-86.8560	19.3634	-87.4422	19.8166	-87.4560
10	21.4625	-87.3942	21.4686	-86.7905	20.8660	-86.8567	19.3657	-87.4437	19.8156	-87.4566

Estación	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
AMP	PNAX		BCMR		TAMR		PHMH		AUMRS	
1	18.2910	-87.8247	18.1579	-87.8304	17.3065	-87.8010	16.2064	-88.5068	15.9612	-88.8004
2	18.2876	-87.8254	18.1600	-87.8306	17.3075	-87.8004	16.2102	-88.5077	15.9606	-88.8014
3	18.2771	-87.8280	18.1652	-87.8304	17.3083	-87.7997	16.2102	-88.5077	15.9598	-88.8008
4	18.2702	-87.8271	18.1668	-87.8308	17.3097	-87.7999	16.2016	-88.5078	15.9592	-88.8015
5	18.2615	-87.8258	18.1679	-87.8326	17.3104	-87.7995	16.2001	-88.5025	15.9584	-88.8063
6	18.2611	-87.8261	18.1687	-87.8341	17.3111	-87.7988	16.1996	-88.5533	15.9577	-88.8071
7	18.2586	-87.8261	18.1696	-87.8337	17.3121	-87.7983	16.1941	-88.5711	15.9570	-88.8076
8	18.2570	-87.8275	18.1704	-87.8327	17.3142	-87.7974	16.1932	-88.5704	15.9565	-88.8083
9	18.2364	-87.8312	18.1712	-87.8329	17.3157	-87.7966	16.1918	-88.5699	15.9575	-88.8083
10	18.2338	-87.8319	18.1765	-87.8385	17.3168	-87.7958	16.1902	-88.5707	15.9603	-88.8101

Estación	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
AMP	RVSPM		THRH		SBWEMB	
1	15.9676	-88.5544	16.1086	-86.9547	16.3250	86.5801
2	15.9683	-88.5541	16.1090	-86.9533	16.3255	86.5790
3	15.9672	-88.5528	16.1091	-86.9517	16.3260	86.5774
4	15.9675	-88.5518	16.1090	-86.9501	16.3331	86.5707
5	15.9687	-88.5514	16.1095	-86.9489	16.3340	86.5692
6	15.9684	-88.5503	16.1179	-86.9150	16.3344	86.5685
7	15.8693	-88.6436	16.1177	-86.9134	16.3356	86.5674
8	15.8690	-88.6436	16.1178	-86.9118	16.3362	86.5659
9	15.8688	-88.6432	16.1177	-86.9101	16.3370	86.5649
10	15.8681	-88.6437	16.1188	-86.9083	16.3378	86.5638

Anexo 2.




Catálogo de larvas, postlarvas y juveniles de peces del SAM registradas durante los ejercicios de conectividad ECOME.



Catálogo de postlarvas y juveniles de peces del SAM ECOME 1-3

Lourdes Vásquez-Yeomans, Estrella Malca, S. Morales, J.A. Cohúo y Giezi Yam

Claves: Parque Nacional Isla Contoy, PNIC; Reserva de la Biosfera Sian Ka'an: Bahía Ascensión, SKBA, Bahía Espíritu Santo, SKES; Parque Nacional Arrecifes de Xcalak, PNAX; Turneffe Atoll Marine Reserve, TAMR; Port Honduras Marine Reserve, PHMR; Área de Uso Múltiple Rio Sarstún, AUMRS; Refugio Vida Silvestre Punta Manabique, RVSPM; Zona de Protección Especial Marina Turtle Harbour - Rock Harbour, Utila, THRH y Sandy Bay West End Marine Reserve Roatán, SBWEMR. Longitud total (LT), longitud estándar (LE).

<p>TAMR ECOME 2 LT=35 mm LE=28 mm</p>	 <p><i>Acanthuridae Acanthurus sp.</i> surgeonfish</p>
<p>SKES ECOME 1 LT=21 mm LE=17 mm</p>	 <p><i>Apogonidae Apogon aurolineatus</i> bridle cardinalfish</p>
<p>SBWEMR ECOME 1 LT=93 mm LE=90 mm</p>	 <p><i>Aulostomidae Aulostomus maculatus</i> Trumpetfish</p>

© 2015 Grupo de Conectividad del Arrecife Mesoamericano. Todos los derechos reservados.

Forma de citar este documento: Vásquez-Yeomans, L., E. Malca, S. Morales, J.A. Cohúo y G. Yam. 2015. Catálogo de postlarvas y juveniles de peces del SAM: Ejercicios de Conectividad en el Mesoamericano (ECOME 1-3). Chetumal, Quintana Roo. 13 pp.

<http://marfund.org/en/wp-content/uploads/2017/09/2015-Sep-Catalogo-Peces-SAM-ECOMES.pdf>

Anexo 3.



Pantallas del proyecto BOLDSYSTEM que muestran resultados obtenidos para ejemplares recolectados en Punta de Manabique RVSPM, usando la técnica genética de Código de Barras de la Vida. Muestran información taxonómica de los ejemplares y ubicación geográfica de su localidad de colecta

Labridae *Halichoeres socialis* (Número de BOLD SYSTEMS ID: FWB-D3-039)

BOLDSYSTEMS

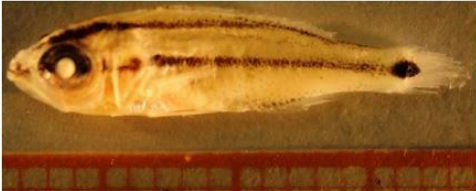
Specimen - FISH-BOLD WORKSHOP [FBW] Print

Edit Specimen

IDENTIFIERS	PHOTOGRAPHS
<p>Sample ID: FWB-D3-039 Process ID: FBW039-14 Institution Storing: El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal Field ID: 6092013Hc02 Museum ID: PECESHC02 Collection Code: HCGUA02</p>	 <p>License: Creative Commons (2014) License Holder: Victor Manuel Gudiel Corona, USAC</p> <p>Add Tags & Comments Comments: 0 Associated Tags: No Tags</p>
<div style="background-color: #e6f2ff; padding: 2px 5px; margin-bottom: 5px;">TAXONOMY</div> <p>Identification: <i>Halichoeres socialis</i> (Randall & Lobel, 2003, 2003) Rank: Species Identifier: Victor manuel VG Gudiel corona Identification Method: Morphological Identifier Institution: Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela de Biología Identifier Email: vgudielcorona@gmail.com Taxonomy Note: Not sure identification specie</p> <p>Rank: Current Record (FWB-D3-039)</p> <p>Phylum: Chordata Class: Actinopterygii Order: Perciformes Family: Labridae</p> <p>Genus: Halichoeres Species: Halichoeres socialis</p>	<div style="border: 1px dashed #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p>Others in BIN (BOLD:AA1853)</p> <p>Chordata [4] Actinopterygii [4] Perciformes [4] Labridae [4]</p> </div> <div style="background-color: #ffe0e0; padding: 2px 5px; margin-bottom: 5px;">GEOGRAPHY</div> <p>Country: Guatemala Province/State: Izabal Region/Country: Puerto Barrios Sector: Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique</p>
<div style="background-color: #e6f2ff; padding: 2px 5px; margin-bottom: 5px;">SPECIMEN DETAILS</div> <p>Voucher Status: vouchered: in process to collection Tissue Descriptor: Muscule Sex: Reproduction: Sexual Life Stage: Immature Extra Info: FAO-31 Note: WGS85</p> <p>Associated Taxa: Associated Specimens: Reference Link:</p>	<p>Exact Site: Cabo Tres Puntas Lat/Lon: 15.958, -88.544</p> 
<div style="background-color: #e6f2ff; padding: 2px 5px; margin-bottom: 5px;">ANNOTATION</div> <p>Add Tags & Comments Comments: 0 Associated Tags: No Tags</p>	<div style="background-color: #e6f2ff; padding: 2px 5px; margin-bottom: 5px;">COLLECTION DETAILS</div> <p>Collectors: Victor Gudiel Collection Event ID: Date Collected: 06-Sep-2013 Date Accuracy: Time Collected: Site Code:</p>

Anexo 3 (Continuación)

Haemulidae *Haemulon steindachneri* (Número de BOLD SYSTEMS ID: FWB-D9-045)

Edit Specimen		
IDENTIFIERS		
Sample ID:	FWB-D9-045	
Process ID:	FBW045-14	
Institution Storing:	El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal	
Field ID:	06092013HM03	
Museum ID:	PECESHM03	
Collection Code:	HM03GUA06092013	
TAXONOMY		
Identification:	Haemulon	
Rank:	Genus	
Identifier:	Victor manuel VG Gudiel corona	
Identification Method:	Morphological	
Identifier Institution:	Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela de Biología	
Identifier Email:	vgudielcorona@gmail.com	
Taxonomy Note:	Not sure identification specie	
Rank:	Current Record (FWB-D9-045)	Others in BIN (BOLD:AAC579.1)
Phylum:	Chordata	Chordata [10]
Class:	Actinopterygii	Actinopterygii [10]
Order:	Perciformes	Perciformes [10]
Family:	Haemulidae	Haemulidae [10]
Subfamily:	Haemulinae	Haemulinae [10]
Genus:	Haemulon	Haemulon [10]
Species:		Haemulon steindachneri [4] Haemulon steindachneri Atlantic [2] Haemulon sp. [1]
PHOTOGRAPHS		
		
License: Creative commonsAttributionsNonComercial (2014) License Holder: José Angel Cohuo Coll, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal		
Add Tags & Comments Comments: 0 Associated Tags: No Tags		
GEOGRAPHY		
Country:	Guatemala	
Province/State:	Izabal	
Region/County:	Puerto Barrios	
Sector:	Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique	
Exact Site:	Cabo tres puntas	
Lat/Lon:	15.958, -88.544	

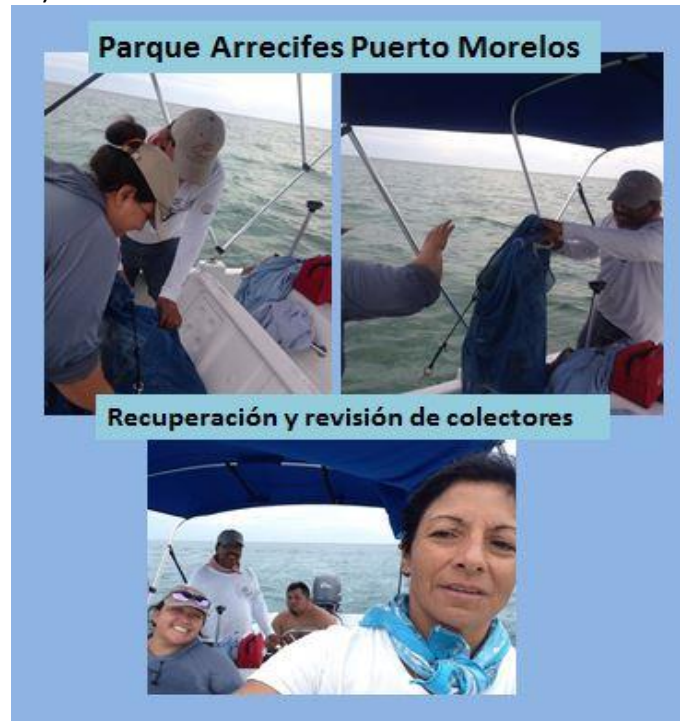
SPECIMEN DETAILS	
Voucher Status:	vouchered: in process to collection
Tissue Descriptor:	Eye
Sex:	
Reproduction:	Sexual
Life Stage:	Immature
Extra Info:	FAO-31
Note:	Setting trap m3, WGS 84, 10 mm
Associated Taxa:	
Associated Specimens:	
Reference Link:	
ANNOTATION	
Add Tags & Comments Comments: 0 Associated Tags: No Tags	
COLLECTION DETAILS	
Collectors:	Victor Gudiel
Collection Event ID:	
Date Collected:	06-Sep-2013
Date Accuracy:	
Time Collected:	
Site Code:	
Habitat:	
Sampling Protocol:	
Coord. Source:	GPS



Anexo 4.

Grupos de trabajo de las áreas marinas del SAM durante los ECOM: a) PNAPM, b) Sian Ka'an, SKBA y c) Xcalak PNAX, de México; d) RVSPM de Guatemala y e) THRH de Utila.

a) México: PNAPM



b) México: Sian Ka'an, SKBA



Anexo 4. Continuación

c) México: Xcalak, PNAX

Equipo de trabajo

Jorge Gómez responsable en campo

AMP: PNAX XCA	PAÍS: MEXICO
Fecha: 17/09/2013	Hora: 07:00
Est: 03	CCA: 06
Colector: Felipe Frajeda	
Observaciones: 1 Apogonidae, Nublado, lluvias en la noche	

Apogonidae capturado

Tipos de fondos

e) Guatemala: RVSPM

Refugio de Vida Silvestre Punta Manabique RVSPM

Grupo de trabajo de Punta Manabique

Recuperación de CCA en campo

Técnica de etiquetado de postlarvas y juveniles colectados por los CCA

ECOME 04	
CONAP/GUA-MANABIQUE	
FECHA: 14-09-2019	
HORA: 8:00 Am	
ESTACIÓN: 09	
CCA: 17 y 18	

Anexo 4. Continuación

f) Honduras: Utila, THRH



Anexo 5.

Ejercicios ECOMe y reunión de trabajo en Cancún (julio 2016) con personal de once AMP del SAM.

Ejercicios de Conectividad en el Sistema Arrecifal Mesoamericano (ECOME)

Lourdes Vázquez-Yeomans¹, Estrella Malca², Eloy Sosa Cordero¹ y Laura Carrillo¹
¹ El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Chetumal, Q. Roo, México, ² Cooperative Institute for Marine and Atmospheric Studies, Univ. of Miami, Miami Florida, USA
 lvazquez@ecosur.mx

Conectividad de hábitats en el SAM

Introducción

Los ejercicios de conectividad están enfocados a generar líneas de base sobre el proceso de reclutamiento de peces arrecifales en el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM). Cinco ejercicios simultáneos y estandarizados fueron realizados en doce áreas naturales protegidas (ANPs) del SAM: septiembre, 2013; febrero-marzo y agosto, 2014; septiembre 2015 y 2016. Participaron más de 172 personas entre manejadores de las ANPs, guardaparques, lancheros, estudiantes, voluntarios y académicos.

Metodología

Se utilizó el Colector de Columna de Agua (CCA), arte de muestreo de bajo costo. En cada ANP se establecieron 10 estaciones, con dos CCA. Los CCA fueron desplegados de noche, alrededor de la luna nueva, y revisados por la mañana durante odio días consecutivos. El material colectado fue fijado en alcohol al 95%, fotografiado e identificado con base en un catálogo de larvas y postlarvas de peces del SAM.

Resultados

Durante los cinco ejercicios ECOMe se colectaron 1823 larvas, postlarvas y juveniles tempranos de peces en el SAM, representando a 64 especies, 52 géneros y 31 familias. Las especies más abundantes y características de la región son las botetas, *Centropyge rostrata*, *Jamul Chlorocomburus chrysurus*; donacilla *Heliocentrus socius* y *Ipi*, *Monacanthus tocius*. Importantes diferencias fueron observadas en la biodiversidad de las áreas de Yum Balam, Mérida y las de Sarstón y Punta Manabique de Guatemala.

Conclusiones

Estos ejercicios son una iniciativa regional auspiciados inicialmente por NOAA y la Universidad de Miami, en colaboración con MARFUND, ECOSUR, y doce ANPs de Mérida, Belice, Guatemala y Honduras. El objetivo a corto plazo es darle continuidad a estos esfuerzos simultáneos y estandarizados sobre el monitoreo de los reclutas de peces arrecifales a lo largo del SAM como parte de la iniciativa de estudios de Conectividad en Sistema Arrecifal Mesoamericano.

Áreas Naturales Protegidas SAM

1. Área de Protección FF Yum Balam
2. Parque Nacional Isla Contoy
3. Parque Nacional Puerto Morelos
4. San Ka'an Punta Allen
5. San Ka'an Punta Hecero
6. Parque Nacional Arrecifes Xcalak
7. Reserva Marina Escalón Chico
8. Reserva Marina Alción Tunucil
9. Reserva Marina Port Honduras
10. Reserva Uso Múltiple Río Sarstón
11. Refugio Vida Silvestre Punta Manabique
12. Parque Marino Turtle-Rock URB
13. Reserva Marina Sandy Bay W.E. Roalson

(El número en el mapa no corresponde con el orden del área.)

Resultados Biológicos

Metodología Visual

Participación

Todas las fotos son originales y pertenecen al grupo de la Red de Conectividad del SAM. Se agradece a Silvana Morales por su apoyo. Proyecto Apoyado por el Conacyt Support by: NOAA Coral Reef Conservation Program, grant #123M