

Artículo científico

Asentamiento de postlarvas de langosta roja (*Panulirus interruptus*) y su relación con el ambiente en Bahía Asunción, Baja California Sur, México

Armando Vega-Bolaños*✉, Fernando López-Salas, Armando Vega-Velázquez, Benigno Hernández-de la Torre, Edgardo Camacho-Bareño y Gabriel Antonio Jiménez-Llanos

Se monitoreó el asentamiento de postlarvas de *Panulirus interruptus* en Bahía Asunción, BCS, de junio 2010 a diciembre 2018 y se analizó la relación con algunos factores físicos. Se utilizaron colectores artificiales Phillips para estimar un índice de abundancia relativa por mes (número de puerulos por colector). Se obtuvieron promedios mensuales de la temperatura superficial del mar *in situ* y los índices de surgencias costeras (UPI, por sus siglas en inglés) del cuadrante 27° N en el Pacífico nororiental de la base de datos del Pacific Fisheries Environmental Laboratory (NOAA/NMFS/SWFSC). El asentamiento de puerulos fue significativo a partir de la primavera y alcanzó su pico en verano, lo que coincidió con el debilitamiento de las surgencias, de altas a moderadas, y con el inicio del calentamiento estacional del mar. El pico de asentamiento varió interanualmente influenciado por fenómenos atmosféricos, bajo condiciones de La Niña 2011-2012 se observó un escaso asentamiento y, en 2013-2014, en condiciones cálidas asociadas a La Mancha, el asentamiento incrementó hacia valores promedio. Sin embargo, la interacción con El Niño 2015-2016 afectó de forma negativa el asentamiento. Estas investigaciones deben ser reforzadas para mejorar la evaluación y el manejo del recurso mediante el pronóstico de capturas, caracterización de áreas de crianza, y evaluar la disponibilidad de semilla para el semicultivo de langosta.

Palabras clave: Puerulo, colectores, reclutamiento de postlarvas, temperatura superficial del mar, surgencias costeras.

Red spiny lobster (*Panulirus interruptus*) postlarval settlement and its relationship with the environment at Bahía Asunción, Baja California Sur, Mexico

This study examines the relationship between pueruli settlement of *Panulirus interruptus* and environmental factors in Bahía Asunción, BCS, from June 2010 to December 2018. Artificial collectors Phillips were used to estimate an index of abundance per month (number of pueruli per collector). Monthly averages of the superficial temperature of the sea were taken *in situ* and the upwelling index (UPI) of the 27° N quadrant of the northeastern Pacific from the Pacific Fisheries Environmental Laboratory (NOAA/NMFS/SWFSC) web sites. Pueruli settlement was significant from spring on and reached its highest peak in summer as the upwelling weakened from high to moderate, and the seasonal warming of the sea started. Also the settlement peak varied inter-annually influenced by atmospheric phenomena, namely under La Niña conditions in 2011-2012 low settlement indices occurred, and from 2013 on warming conditions associated with The Blob settlement increased to average values. Nevertheless the interaction with El Niño 2015-2016 affected the settlement negatively. This research must be strengthened to assess and manage the lobster resource to predict production of catches, characterizations of breeding areas, and availability of the "seed" for the lobster semi-cultivation.

Key words: Pueruli, collectors, postlarvae recruitment, sea surface temperature, upwelling.

Introducción

Las langostas espinosas (Familia Palinuridae) son recursos pesqueros de gran valor expuestos a intensas tasas de explotación, al grado de que la

mayoría de las poblaciones alrededor del mundo están en sus grados máximos de producción y en algunos casos han declinado de forma drástica (Vega-Velázquez 2006).

La pesquería de langosta espinosa en la región de la península de Baja California (PBC) genera un alto impacto socioeconómico por ser una fuente de empleo, alimento y divisas. Desde de los años noventa y hasta la actualidad, la

* Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera-La Paz. La Paz, BCS, CP 23020. México. ✉ Responsable de la correspondencia: armando.vega@inapesca.gob.mx

producción muestra una tendencia ligeramente creciente con fluctuaciones de entre 1 000 y 2 600 t, su comportamiento es determinado por el *stock* central de la PBC (isla Cedros/bahía Vizcaíno-Punta Abrejos). Durante las temporadas 2000/2001 a 2013/2014 se registraron los mayores datos históricos de producción en la PBC, con capturas anuales por encima del promedio de 1 285 t (Vega-Velázquez *et al.* 2018¹). La mayor parte de la producción (90%) se exporta al mercado asiático. *Panulirus interruptus* (Randall 1840), comúnmente llamada langosta roja, es la especie que sostiene la pesquería en la PBC al ser la más abundante y valiosa, aporta alrededor de 94% de la producción total, el restante 6% lo conforman las especies tropicales que tienen menor precio y por lo general se destinan al mercado nacional (Vega-Velázquez 2006).

La langosta roja se distribuye dentro del ecosistema templado-subtropical de la Corriente de California (CC), aproximadamente entre San Luis Obispo, California, EE.UU. (35° N), hasta el sur de la bahía Magdalena, Baja California Sur (BCS), México (24° N). Sin embargo, las mayores densidades se encuentran en la zona central de la PBC y la bahía del sur de California (Johnson 1960, Pringle 1986, Ortuño-Manzanares 2003, Peñaloza-Mayorazgo 2008, García-Kauffman 2009). El proceso reproductivo de *P. interruptus* en la costa occidental de la PBC se caracteriza por presentar un ciclo gonádico isocrónico anual, que se presenta en tres etapas (Vega-Velázquez 2003). Inicia con el apareamiento cuando los machos depositan el espermatóforo en las hembras a finales del invierno, el pico de maduración indicativo de la fertilización (hembras ovígeras), lo alcanzan entre abril y septiembre. Finalmente, el desove ocurre en verano, entre julio y septiembre, cerca de la costa, en intervalos de tres a cinco días. Adicionalmente, se han detectado variaciones interanuales en las fases críticas de la reproducción de esta especie, relacionados con cambios en el ambiente, principalmente con la

temperatura marina superficial y eventos de surgencias costeras, lo que resulta en que la etapa de maduración y eclosión se acorten en temperaturas cálidas o se prolonguen en condiciones de frío (Vega-Velázquez 2003).

La larva filosoma, transparente y comprimida dorsoventralmente, no está adaptada al nado, por lo que permanece a la deriva en la zona pelágica formando parte del plancton de siete a nueve meses y hasta un año (Johnson 1960, García-Kauffman 2009). La distribución larvaria está fuertemente influenciada por los procesos de advección de la CC tales como: circulaciones superficial y subsuperficial, meandros, giros costeros y transporte de Ekman. Debido a esto pueden ser dispersadas a más de 1 000 km fuera de la costa y de igual modo ser retenidas por dichos mecanismos; en esta etapa, la sobrevivencia es de aproximadamente 3% (Johnson 1960, Pringle 1986, Ortuño-Manzanares 2003, Peñaloza-Mayorazgo 2008, García-Kauffman 2009). En el último estadio, la larva filosoma experimenta una metamorfosis para convertirse en la postlarva conocida como puérulo, y adquiere una forma muy similar a la del adulto, totalmente transparente, con fototropismo positivo y capacidad natatoria (Gracia y Kensler 1980, Shaw 1986). Esta metamorfosis por lo regular sucede en la costa; sin embargo, puede ser fuera de la plataforma continental y, de ser así, las larvas regresan nadando a la costa en busca de refugio con la ayuda de las corrientes. Este proceso representa la transición del ambiente pelágico al bentónico conocida como asentamiento (Phillips y McWilliam 2009). El asentamiento de postlarvas ocurre en áreas costeras arrecifales dominadas por mantos de macroalgas, principalmente *Macrocystis* spp., *Gelidium* spp., *Eisenia* spp., entre otras, y de pastos marinos como *Phyllospadix torreyi* Watson 1879. Este proceso ocurre con mayor intensidad durante verano-otoño cuando disminuye la actividad de surgencias costeras (Guzmán-del Prío *et al.* 1996, 2003, Vega-Velázquez *et al.* 2001²).

1. Vega-Velázquez A, GA Jiménez-Llanos, A Vega-Bolaños, E Camacho-Bareño. 2018. Evaluación de langosta roja (*Panulirus interruptus*), temporada 2017-2018: puntos de referencia para manejo sostenible de la pesquería en la región centro occidental Península de Baja California. Informe de investigación (Documento interno). CRIAP-La Paz, INAPESCA. México. 48p.

2. Vega-Velázquez A, C Gómez-Rojo, A Del Valle-Manríquez, R Ayala-Murillo, A Villa-Bastida. 2001. Reclutamiento de estadios tempranos de langosta roja (*Panulirus interruptus*) y su relación con factores ambientales en la costa noroccidental de Baja California Sur. Informe técnico (Documento interno). Instituto Nacional de la Pesca, Centro Regional de Investigación Pesquera-La Paz. México. 27p.

La disponibilidad de hábitat adecuado, como los fondos rocosos, mantos de macroalgas y pastos marinos, es un factor crítico para el asentamiento (Vega-Velázquez *et al.* 2001³, Castañeda-Fernández de Lara 2005). Una vez asentados en el fondo, los puerulos adquieren pigmentación en entre seis a ocho días, y en la primera muda se convierten en juveniles e incrementan su tamaño durante varias mudas (de nueve a 11 días), los juveniles bentónicos optan por los fondos rocosos intermareales y someros (1-4 m de profundidad), ahí permanecen alrededor de cuatro a seis años hasta alcanzar la fase adulta, para desplazarse a estratos más profundos (hasta 80 m o más), en donde se aparean (Gracia y Kensler 1980, Shaw 1986, Vega-Velázquez *et al.* 2001²).

El grado del asentamiento de puerulos de langostas espinosas se ha monitoreado mediante colectores artificiales cuyos diseños varían (Briones-Fourzán y Gutiérrez-Carbonell 1991, Phillips *et al.* 1994, García-Paredes 2011). Su función es imitar a las macroalgas y pastos marinos donde se refugian en el medio natural. Se ha demostrado que el grado del asentamiento tiene relación directa con la captura comercial años después (con desfase variable según la especie). Sobre esta base se han desarrollado métodos incipientes de pronóstico de la captura comercial en Bahía Tortugas, BCS (Arteaga-Ríos *et al.* 2007), por lo que esta línea de investigación tiene importante aplicación en la evaluación, el manejo y el aprovechamiento acuícola de la especie.

Los primeros estudios en el asentamiento y la ecología de puerulos y juveniles de *P. interruptus* se realizaron en California en la década de los años setenta utilizando colectores artificiales (Parker 1972, Serfling y Ford, 1975, Engle 1979) a partir de los cuales identificaron un periodo de asentamiento a finales de la primavera y durante verano hasta otoño, coincidiendo temperaturas altas con las mayores abundancias. En México, los primeros trabajos sobre asentamiento postlarval se llevaron a cabo en Quintana Roo con *Panulirus argus* (Latreille 1804) utilizando colectores rústicos llamados Gu-Si (Briones-Fourzán y Gutiérrez-Carbonell 1991). Posteriormente se aplicó en Bahía Tortugas, BCS, donde reportaron un pico máximo de asentamiento de postlarvas en otoño-principios de invierno, y otro menor en primavera-principios de verano (Guzmán-del Prío

et al. 1996), así como la notable influencia de El Niño en la magnitud del asentamiento (Guzmán-del-Prío *et al.* 2003). Por su parte, el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA), en coordinación con las sociedades cooperativas de Producción Pesquera (SCPP) de la región centro-occidental de la PBC, llevó a cabo durante 1998-2002 el monitoreo del asentamiento de postlarvas y juveniles utilizando colectores tipo Phillips y Gu-Si entre Punta Abreojos y Bahía Tortugas, BCS. Se logró identificar que la relación inversa de la temperatura superficial del mar con los eventos de surgencias afecta en la magnitud del asentamiento (Vega-Velázquez *et al.* 2001²). En 2010 se continuó en la costa de Bahía Asunción, BCS, con el objetivo de caracterizar el patrón de asentamiento y analizar los efectos de factores ambientales (temperatura superficial del mar y surgencias costeras).

Materiales y métodos

Área de estudio

El trabajo se realizó en el poblado Bahía Asunción, municipio de Mulegé, BCS (Fig. 1), ubicado en la región centro-occidental de la PBC, entre 27° 08' N y 114° 17' O.

La región presenta un clima muy seco y semi-cálido con escasa precipitación, principalmente en invierno y a finales del verano, y alta evaporación. El régimen de viento varía entre dos patrones de circulación que son característicos de la región este del océano Pacífico en latitudes medias: durante otoño e invierno domina la actividad sinóptica de las capas superiores de la atmósfera, consistente de sistemas ciclónicos y anticiclónicos que se propagan hacia el este; mientras que en primavera y verano dominan los vientos del noroeste producidos por la interacción del sistema anticiclónico estacionario del Pacífico Norte y la región termal de baja presión sobre el desierto de Sonora (Gutiérrez-De Velasco *et al.* 2009³).

3. Gutiérrez-De-Velasco G, H Herrera-Cervantes, A Trasviña-Castro, MA Cosío López, H Torres-Chávez. 2009. Oceanografía de la región Pacífico norte del estado de Baja California Sur. Reporte Técnico (Documento interno). CICESE. México. 54p.



Fig. 1. Localización del área de estudio en Bahía Asunción, BCS (mapa creado mediante *software* Q-GIS versión 10, 2010).

El ambiente marino es determinado principalmente por la CC, el efecto del viento y la topografía submarina, además de diferentes fenómenos océano-atmosféricos, como el ENOS (El Niño Oscilación del Sur) o la propagación de ondas oceánicas. Dicha región está posicionada geográficamente al borde de una zona de transición entre los ambientes templado y subtropical, donde existen principalmente tres masas de agua: subártica, subtropical superficial y ecuatorial del Pacífico (Gutiérrez-De Velasco *et al.* 2009³). Las propiedades físicas superficiales presentan una distribución meridional en concordancia con la confluencia de masas de agua en la región, es decir, en la parte norte donde incide la CC, la temperatura y la salinidad son bajas, mientras que más al sur, donde influyen las aguas subtropicales, dichos factores se incrementan. Esta distribución es modulada estacionalmente por los cambios de intensidad en la CC y en la intrusión de aguas subtropicales (Gutiérrez-De Velasco *et al.* 2009³).

Monitoreo de asentamiento de postlarvas

Se utilizó un arte de recolecta denominado colector Phillips (Phillips y Booth 1994), que tiene

la función de simular a los pastos marinos como *Phyllospadix* spp. y otras especies de macroalgas donde se refugian las postlarvas. El colector consta de un prisma triangular hecho de aluminio o acero, al que se le inserta una placa de plástico perforada en forma de rejilla con mechones de fibra sintética (filástica) cepillada y atada en cada lado. Las placas se sujetan con cinchos de plástico a la estructura del colector que flota al ras de la superficie en posición vertical gracias a tres boyas en la parte interna del prisma triangular, que a su vez está fijado a un lastre de aproximadamente 40 kg (peso muerto) mediante un cabo, cadena, destorcedores y grilletes galvanizados.

Se fabricaron cinco colectores Phillips que fueron instalados en la costa de Bahía Asunción (Fig. 1). Se seleccionaron sitios protegidos del oleaje y fuertes corrientes con presencia de macroalgas y pasto marino. Su ubicación se registró con un GPS Garmin map76. Los colectores se revisaron cada mes desde junio 2010 a diciembre 2018. La revisión consistió en subirlos a la embarcación, desmontar las placas de PVC una a la vez y sacudirlas con fuerza diez veces sobre un recipiente de plástico donde se observó la presencia o la ausencia de postlarvas de langosta. Finalmente, se reinstaló el colector en el mar. Cabe mencionar

que se limpiaron las placas de PVC con filástica de organismos coloniales, como briozoos, cada tres meses, o cuando se encontraron saturadas, en ocasiones se reemplazaron por placas nuevas. Además del colector, se revisaron de manera aleatoria cuerdas “cabos” donde se anclan las embarcaciones menores de los pescadores en la costa, que cuentan con un lastre en el fondo a cuatro brazas de profundidad y sirven como sustrato de fijación a especies de macroalgas. Se revisó una longitud de 4 m (dos brazas) de cada cabo.

Los organismos se registraron siguiendo el criterio de Parker (1972), y se clasificó en tres categorías a las postlarvas de langosta roja: puerulus, que son postlarvas transparentes; postpuerulus, postlarvas tenuemente pigmentadas en los lados; y juveniles, organismos totalmente pigmentados.

El grado del asentamiento se determinó mediante el número de postlarvas (de los tres estadios) por unidad de esfuerzo (ue); en este caso se aplicaron dos tipos de unidad de esfuerzo (colectores y cabos), con lo que se obtuvo un índice de abundancia relativa denominado índice de asentamiento (IA). Dicho índice se calculó con la siguiente fórmula:

$$IA = \text{Núm. puerulus/unidad de esfuerzo} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde: IA = Índice de asentamiento.

Durante el monitoreo, el número de colectores revisados varió porque se instalaron siete más en distintas ocasiones y, por otra parte, no en todos los muestreos se encontraron los colectores instalados y algunos se perdieron por la marejada, en promedio se revisaron dos al mes. En el caso de los cabos, se revisaron de manera aleatoria de uno a seis por mes, con un promedio de tres. Se comparó la capacidad de colecta entre colectores y cabos, para lo que se realizó un análisis exploratorio de los datos. La prueba Kolgomorov-Smirnoff indicó que los datos no siguen una distribución normal, por lo que se aplicó una prueba de Kruskal-Wallis para determinar si existía diferencia significativa en la capacidad recolectora de las unidades de esfuerzo. Esto se hizo para agrupar el IA obtenido de cada tipo de unidad de esfuerzo sin aumentar el error, por consiguiente, se sumó la captura de postlarvas de

colectores y cabos y se dividió entre el número de unidades de esfuerzo (núm. de organismos/unidad esfuerzo). Las pruebas estadísticas se realizaron utilizando el *software* STATISTICA (2007).

Monitoreo de factores ambientales

La temperatura superficial del mar (TSM) se registró diariamente en el puerto de Bahía Asunción, BCS, (*in situ*) con un termómetro de inmersión de alcohol con variación de -35 a +50 °C, a partir de esto se obtuvo un promedio mensual. Este factor ambiental se monitorea desde 1992 en Bahía Asunción, por lo que se pudo estimar un patrón de referencia mensual que fue útil para detectar temperaturas superficiales marinas anómalas (TSMA). Por otra parte, los índices de surgencias costeras (IS) y respectivas anomalías (ISA) se obtuvieron del cuadrante 27° N 116° O del Pacífico nororiental a partir del *Pacific Fisheries Environmental Laboratory* (NOAA/NMFS/SWFSC⁴). El valor obtenido en los IS se transformó a escala logaritmo base 10 para simplificar su esquematización. Los IS derivan de los campos de presión atmosférica y constituyen una estimación del transporte de Ekman costa-océano (Bakun 1996).

Posteriormente, se aplicó la integral o suma acumulada de las anomalías mensuales, conocida también como fenología, para precisar cambios en el ambiente y su relación con el asentamiento.

El monitoreo de las variables ambientales fue de enero 2010 a diciembre 2018.

Análisis de la información

Se estimaron las medias del IA con intervalos de confianza (α : 0.05) agrupadas por estación del año, de junio 2010 a marzo 2018. Después, se calculó el IA por año para determinar si existió una diferencia significativa interanual.

Se aplicó un modelo lineal simple para determinar la relación entre el índice de asentamiento de postlarvas de langosta roja y los factores ambientales en Bahía Asunción, BCS, durante 2010

4. http://www.pfel.noaa.gov/products/PFEL/modeled/indices/upwelling/NA/data_download.html.

a 2018. La ecuación del modelo de regresión lineal simple (Daniel 2012) es la siguiente:

$$y = a + b x \text{ Ec. 2}$$

Donde: y = variable dependiente (índice de asentamiento), x = variable independiente (factores ambientales), a y b = coeficientes de regresión de la población, a representa la ordenada al origen en y , y b es la pendiente.

Posteriormente, se aplicó una prueba de correlación Pearson para conocer el tipo y la de la relación entre el IA y las variables ambientales. La ordenación de los datos y análisis estadístico se realizó en una hoja de cálculo en Microsoft Excel 2007.

Resultados

Composición de la captura de postlarvas

Se capturaron 914 organismos en total. El juvenil fue el estadio dominante con 39.6% de la captura total y seguido del postpuerulo con 38.8%. Los puerulus representaron 21.6%.

Asentamiento postlarval

El índice de asentamiento de postlarvas de *P. interruptus* obtenido con los dos tipos de unidades de esfuerzo presentó una constante oscilación con ligeras diferencias en los picos. La prueba Kruskal-Wallis demostró que no existió diferencia significativa en la capacidad recolectora de colectores Phillips y cabos con macroalgas (Kruskal-Wallis chi-cuadrada = 2.01, $gl = 1$, $p = 0.156$), por lo cual se estimó de nuevo el índice de asentamiento.

El índice de asentamiento de *P. interruptus* en Bahía Asunción se observó en un intervalo de 39.8 en el verano 2010 y 0.1 en la primavera 2017. En las estaciones de primavera y verano se registraron los IA más altos, mientras que en el invierno y el otoño se registraron los índices más bajos. De manera general, hubo una fluctuación con tendencia a la baja en el asentamiento postlarval de 2010 a 2018 (Fig. 2).

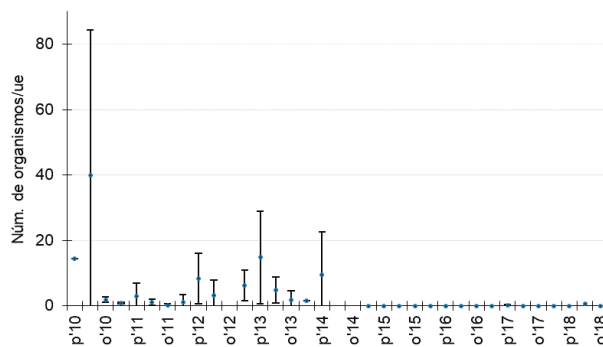


Fig. 2. Medias del índice de asentamiento por estación de 2010 a 2018 con intervalos de confianza a 95% (p = primavera, v = verano, o = otoño, i = invierno).

Con las series anuales del asentamiento se determinó un patrón mensual, donde, el mayor IA se presentó en julio con 13.3 org/ue. Un segundo pico se observó en primavera entre los meses de abril y mayo con 5.7 org/ue. En invierno se registraron bajos IA con el máximo en enero con 2.9, finalmente en otoño se observó un $IA < 1.0$ org/ue (Fig. 3). Asimismo se determinó que el IA en la primavera (5.6 org/ue) es diferente significativamente ($\alpha = 0.05$) al IA de otoño (0.6 org/ue).

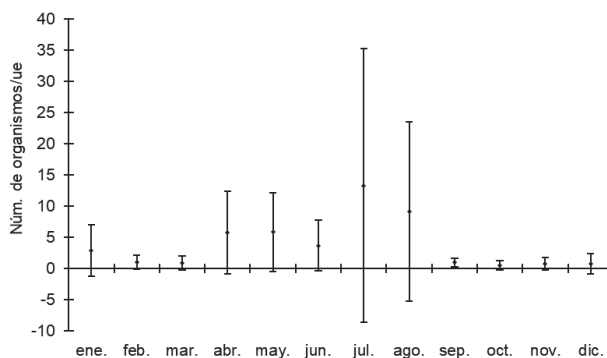


Fig. 3. Patrón mensual del índice de asentamiento de *Panulirus interruptus* en Bahía Asunción, BCS, con intervalos de confianza a 95%.

Las medias anuales del IA con sus intervalos de confianza permitieron determinar que 2013 fue estadísticamente diferente ($\alpha = 0.05$) a los años 2011, 2015, 2016, 2017 y 2018 (Fig. 4).

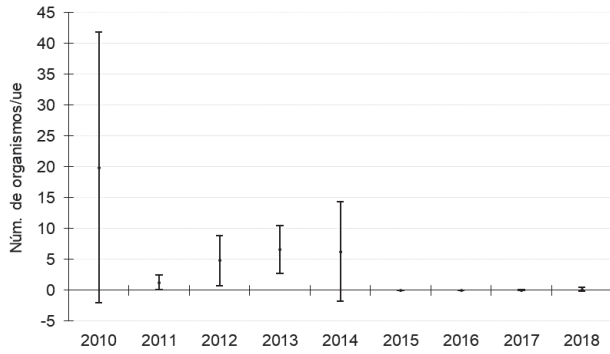


Fig. 4. Medias del índice de asentamiento de *Panulirus interruptus* por año con intervalos de confianza a 95% en Bahía Asunción, BCS.

Asentamiento postlarval y ambiente

Se observaron IA moderados y altos cuando la TSM varió de su mínimo en primavera a su máximo en verano-otoño. Se detectó una tendencia al alza en la TSM desde 2010 a 2015; después mostró un descenso gradual a partir de 2016. En respuesta, el IA se observó con valores altos en 2010 con una media anual de 19.9 org/ue. Después presentó una drástica caída en 2011 con una media anual de 1.3 org/ue, mostrando una ligera tendencia positiva a partir de 2012 (Fig. 5).

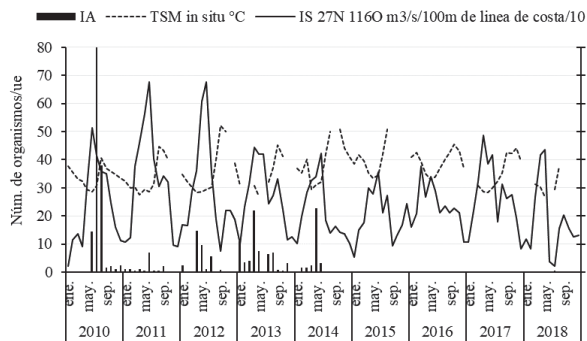


Fig. 5. Índice de asentamiento mensual de *Panulirus interruptus* en Bahía Asunción, BCS (eje izquierdo) y TSM in situ (°C) e IS cuadrante 27° N 116° O (m³/s/100 m de línea de costa) (eje derecho) durante 2010 a 2018.

A partir de junio de 2014 el asentamiento fue nulo. En agosto vararon los colectores (se retiraron del agua) debido a la intensa actividad de tormentas y marejadas. Al mes siguiente se volvieron a instalar; no obstante, la fijación de flora fue muy escasa tanto en los colectores como en los cabos. De hecho, resaltó la presencia del alga café *Padina*

spp. en lugar de la típica lechuga marina *Ulva* spp. (López com. pers.⁵). Hasta mayo de 2017 y junio 2018 hubo asentamientos de 0.3 y 0.5 org/ue, respectivamente. Debido a estos resultados se consideraron dos periodos para analizar la relación del asentamiento con el ambiente, uno fue hasta diciembre 2018 y el otro sólo hasta junio 2014.

El modelo de regresión lineal simple (Tabla 1 y Fig. 6a) entre la TSM in situ y el IA no se ajusta para ambos periodos; sin embargo, los coeficientes de la regresión determinan que la variación del IA se explica en 3.5% para 2010 a 2018 y 2.7% para 2010 a 2014. Los IA más altos se presentaron entre los 13.5 y 20.3 °C. La prueba de correlación Pearson determinó que la relación tiende a la inversa de baja magnitud para los dos periodos (R = -0.187 y R = -0.164).

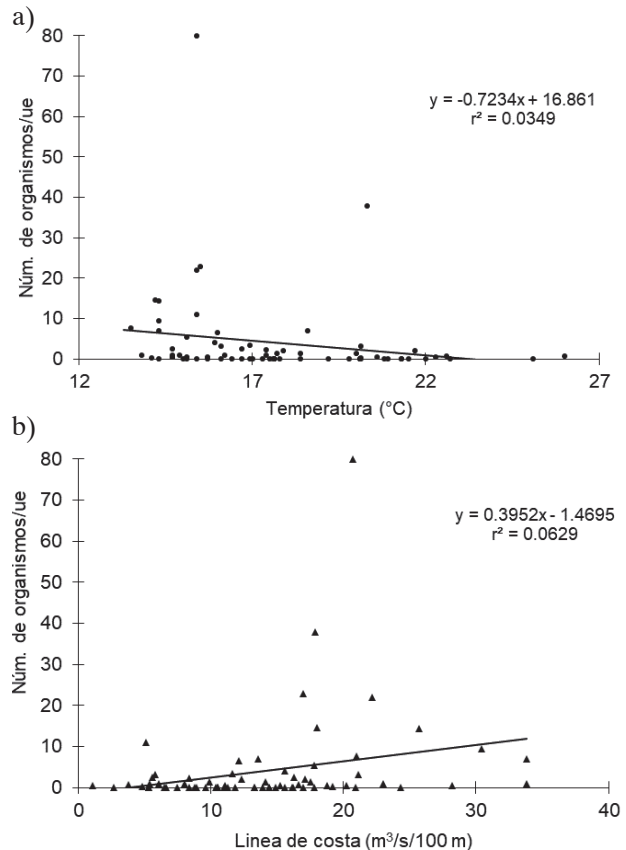


Fig. 6. Dispersión del IA respecto: a) TSM in situ, b) IS/10 27° N 116° O, durante 2010 a 2018.

5. F. López Salas. Técnico de la SCPP “Leyes de Reforma”.

Tabla 1

Parámetros y coeficientes de regresión y correlación en el modelo lineal simple entre las variables ambientales y el índice de asentamiento de *Panulirus interruptus* periodos 2010 a 2018 y 2010 a 2014

2010 a 2018						
	F	p	a	b	r ²	R
TSM vs IA	2.1	0.152	17.002	-0.718	0.035	-0.187
ATSM vs IA	1.39	0.242	4.467	-0.914	0.022	-0.149
FenATSM vs IA	3.13	0.081	1.072	-0.080	0.040	-0.210
IS vs IA	4.56	0.036	-1.469	0.395	0.063	0.251
AIS vs IA	6.59	0.012	2.685	0.735	0.088	0.297
FenAIS vs IA	7.57	0.007	-4.532	-0.094	0.100	-0.317
2010 a 2014						
	F	p	a	b	r ²	R
TSM vs IA	0.8	0.378	20.430	-0.754	0.027	-0.164
ATSM vs IA	0	0.955	7.552	-0.092	0.0001	-0.0095
FenATSM vs IA	16.55	0.0002	84.604	1.279	0.303	0.551
IS vs IA	1.57	0.217	1.354	0.362	0.040	0.199
AIS vs IA	2.04	0.161	4.775	0.673	0.051	0.226
FenAIS vs IA	2.1	0.155	-0.180	-0.070	0.052	-0.229

TSM = temperatura superficial del mar (registrado *in situ*), IA = índice de asentamiento (número de organismos por unidad de esfuerzo), ATSM = temperatura superficial del mar anómala, FenATSM = fenología de la TSMA, IS = índice de surgencia, AIS = índice de surgencia anómala, FenAIS = fenología del índice de surgencia anómala.

En otra perspectiva, los asentamientos altos y moderados también coincidieron cuando ocurrieron eventos de surgencias costeras, principalmente en la primavera. Sin embargo, en 2011 el IS se intensificó y se obtuvieron IA pobres. A partir de 2013, el IS disminuyó y fluctuó con tendencia a la baja hasta 2016; mientras que el IA se presentó en mayor número de meses con valores de 0.5 a 22 org/ue en 2013 y de 1.5 a 22.8 org/ue en 2014 (Fig. 5).

El modelo de regresión lineal simple determinó ($F = 4.56$; $p = 0.036$) para el periodo 2010 a 2018 que la variación del IS influye en 6% en el IA (Tabla 1) y la prueba Pearson determinó una correlación directa de baja magnitud ($R = 0.251$).

Respecto al periodo 2010 a 2014, el modelo no fue significativo ($F = 1.57$; $p = 0.217$); no obstante, mantuvo la misma tendencia, pero con coeficientes más débiles ($r^2 = 0.04$ y $R = 0.199$). El asentamiento se observó en un intervalo del IS de 100 a 340 m³/s/100m de línea de costa (Fig. 6b).

Anomalías ambientales

Las TSMA indicaron un periodo de enfriamiento a partir del verano 2010, que duró dos años, después se observó una oscilación alrededor de la neutralidad (0 °C) con tendencia positiva hasta finales 2015. Por su parte, el IA estuvo por arriba del promedio antes y al final de ese periodo de enfriamiento 2011-2012, así como al inicio de un periodo de calentamiento anómalo en 2013 que se detuvo en la primavera 2014. Durante 2015 se registraron TSMA de +1.6 °C en enero hasta +5.2 °C en agosto, con una media anual de +3.3 °C; posteriormente, el calentamiento anómalo se fue disipando mientras que el IA disminuyó significativamente a partir de 2015 (Fig. 7).

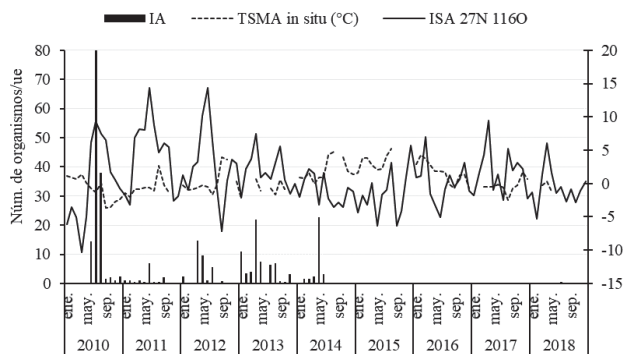


Fig. 7. Índice de asentamiento mensual de *Panulirus interruptus* en Bahía Asunción, BCS (eje izquierdo) y TSMA *in situ* en °C e ISA cuadrante 27° N 116° O en m³/s/100 m de línea de costa cuadrante (eje derecho), durante 2010 a 2018.

La relación entre el IA con las TSMA en ambos periodos no es significativa ($F_{2010-2018} = 1.39$; $F_{2010-2014} = 0$; $p > 0.05$; véase Tabla 1). Pese a esto, la relación fue inversa y se observaron asentamientos de *P. interruptus* en anomalías de -3.6 °C a + 4.0 °C con mayor frecuencia en valores entre -2.2 °C a + 1.0 °C (Fig. 8a).

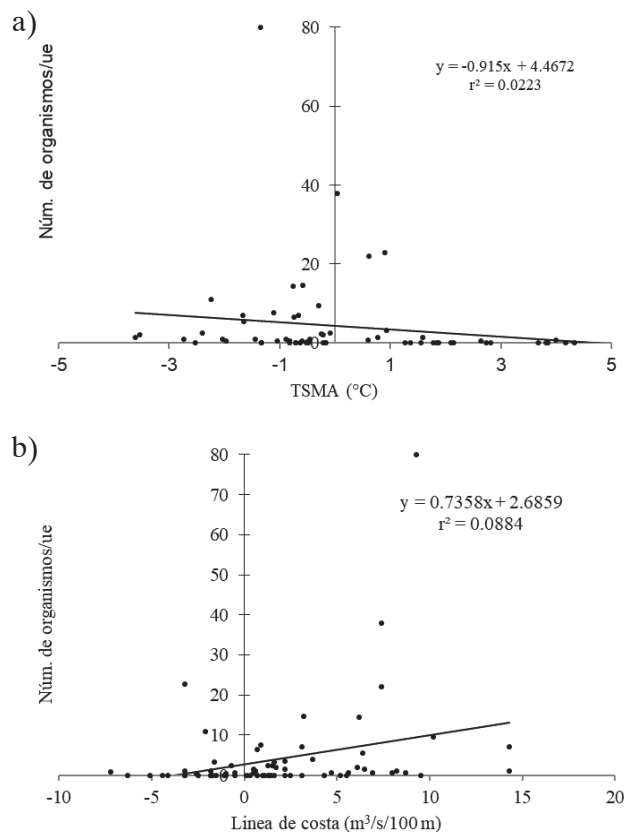


Fig. 8. Dispersión del: a) IA respecto a la *TSMA in situ*; b) ISA/10 27° N 116° O, durante 2010 a 2018.

Las ISA mostraron una tendencia al alza a partir de junio 2010, que duró hasta julio 2012. En 2013 se observó inestabilidad en el periodo de las surgencias costeras con tendencia negativa hasta el invierno 2015-2016, después varió con orientación positiva. El IA respondió de manera positiva en el verano 2010; después el asentamiento escaseó en 2011 hasta marzo 2012; a partir de ello mostró una tendencia al alza hasta mayo 2014 (Fig. 7).

El modelo de regresión lineal determinó ($F = 6.59$; $p = 0.012$) una relación débil ($r^2 = 0.088$) y positiva ($R = 0.297$) durante 2010 a 2018 (Tabla 1). Para el periodo 2010 a 2014 la relación se mantuvo con coeficientes más débiles ($r^2 = 0.051$ y $R = 0.226$) pero ya no fue significativa ($F = 2.04$; $p = 0.161$). Se observaron asentamientos en un intervalo de ISA de -72 a $+143 m^3/s/100m$ de línea de costa, concentrándose los IA más intensos en un intervalo de -32 a $143 m^3/s/100 m$ de línea de costa (Fig. 8b).

Utilizando la fenología de las *TSMA* como variable predictiva para el IA (Fig. 9) mediante

el modelo de regresión lineal simple (Tabla 1) se obtuvo que para el periodo 2010 a 2014 se ajustó significativamente ($F = 16.55$; $p = 0.0002$; $r^2 = 0.3$; $R = 0.55$).

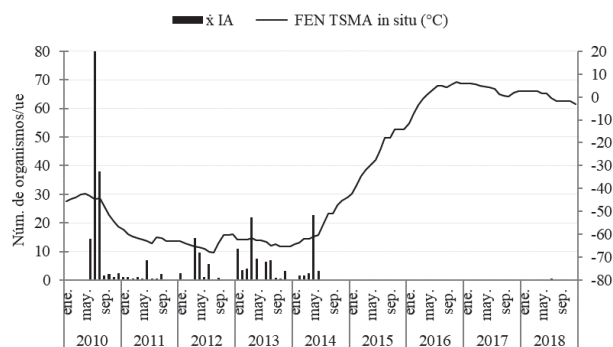


Fig. 9. Índice de asentamiento mensual de *Panulirus interruptus* en Bahía Asunción, BCS (eje izquierdo) y fenología de las *ATSM in situ* en °C (eje derecho) durante 2010 a 2018.

Mientras que en el caso de la fenología de los ISA (Fig. 10), la relación fue significativa sólo en el periodo 2010 a 2018 ($F = 7.57$; $p = 0.007$) estrechándose un poco ($r^2 = 0.1$) y cambiando la tendencia ($R = -0.317$), la que se mantuvo, pero con coeficientes más débiles en el periodo 2010 a 2014 (Tabla 1).

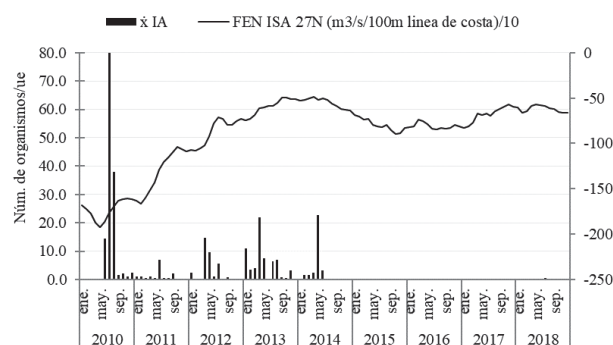


Fig. 10. Índice de asentamiento mensual de *Panulirus interruptus* en Bahía Asunción, BCS (eje izquierdo) y fenología de las anomalías del IS cuadrante 27° N 116° O en $m^3/s/100 m$ de línea de costa (eje derecho) durante 2010 a 2018.

Discusión

El asentamiento de postlarvas de *P. interruptus* en Bahía Asunción durante 2010 a 2018 se observó en diez meses del año, pero con mayor intensidad en primavera y verano (Fig. 4), similar al reportado por Vega-Velázquez *et al.* (2001²) para Bahía Tortugas y Puerto Escondido, BCS,

utilizando colectores Phillips y Gu-Si. Sin embargo, ellos mencionan que el asentamiento es significativo en la primavera, durante el verano y hasta el otoño, pero con mayor intensidad cuando las surgencias costeras disminuyen y la TSM incrementa de 16.7 a 18.4 °C. Por su parte, Guzmán-del Prío *et al.* (1996) reportaron que la estación dominante para Bahía Tortugas es el otoño con una TSM de 20-21 °C, y en primavera ocurre un segundo pico menor. No obstante, ellos utilizaron el colector Gu-Si, anclado a 4 m del fondo marino, obteniendo asentamientos de 1 a 10 puerulus, con una media máxima de 2.52 puerulus/colector/nueva fase lunar. Tanto en los resultados de Guzmán-del Prío *et al.* (1996), como en este trabajo, el estadio juvenil fue el que se capturó con mayor frecuencia, obteniendo una media de 4.3 organismos/unidad de esfuerzo.

Para complementar la relación del IA con la TSM es relevante mencionar que el desove de *P. interruptus* ocurre durante julio y septiembre en un intervalo de 16.2 a 23 °C, presentándose las mayores abundancias en un promedio de 20.1 °C (Vega-Velázquez 2003). García-Kauffman (2009) demostró que filosomas y puerulus de *P. interruptus* en 1999-2000 y 2000-2001 se capturaron en temperaturas de 14.7 a 22.6 °C, y que la larva filosoma se va desarrollando conforme se incrementa la temperatura, hasta llegar al puerulo, que se capturó con mayor frecuencia en alrededor de 19 °C. Las postlarvas de *P. interruptus* tienen mayor afinidad a TSM < 20 °C (Figs. 5 y 6a), característica muy semejante a la encontrada por Ruiz-Chavarria (2013), ya que en el periodo 2006-2008 encontró mayor densidad larvaria en agua transicional (TrW), relativamente cálida (de 21 a 25 °C), mientras que la baja abundancia se encontró en la masa de agua Subártica (SAW) con menor temperatura (de 14 a 21°C), aunque la ocurrencia fue mayor; determinó dos periodos en la distribución de los estadios larvarios: en el cálido, los estadios iniciales e intermedios fueron más abundantes en un ambiente de mayor TSM y spiciness, y en el frío, los estadios finales fueron relacionados con agua de mayor concentración de oxígeno disuelto y sigma t.

Con relación a los procesos de surgencias, las referencias sobre su influencia en la reproducción de la langosta en la literatura son escasas;

sin embargo, se ha reportado que la puesta de la masa ovígera y el desove de *Jasus lalandii* (H. Milne Edwards 1837) en la costa oeste de África coinciden con un incremento en las surgencias y en la disponibilidad de alimento (George y Kensler 1970), mientras que en *P. interruptus* en la costa occidental de la PBC, el pico del desove ocurre cuando las surgencias se debilitan (Vega-Velázquez 2003). En este estudio se observaron los mayores asentamientos en IS moderados, en un intervalo de 100 a 300 m³/s/100m de línea de costa (Figs. 5 y 6b), y anomalías mayores a -50 y +150 m³/s/100m de línea de costa no propiciaron asentamientos de postlarvas (Figs. 7 y 8b). El modelo para estimar la variabilidad del IA respecto al IS y al AIS durante 2010 a 2018 es significativo (IS F = 4.56 AIS F = 6.59; p < 0.05), pero determina una relación débil positiva (IS R = 0.063 r² = 0.251; AIS R = 0.088 r² = 0.297). Con la aplicación de las fenologías de las anomalías del índice de surgencias se obtuvo una correlación poco más estrecha e inversa (F = 7.57; p = 0.007; r² = 0.1; R = -0.317; véase Tabla 1 y Fig. 10). Este tipo de relación coincide con lo señalado por Vega-Velázquez *et al.* (2001²) y de-Lestang *et al.* (2011) al obtener los mayores asentamientos de postlarvas de langosta *P. interruptus* y *Panulirus cygnus* George 1962, respectivamente, con menor movimiento del agua.

Otros autores han encontrado que la biomasa de cloforila-a en la costa oeste de EE. UU. se maximiza con forzamientos de vientos moderados (Jacox *et al.* 2018); sin embargo, la variabilidad de la concentración de nitratos en la subsuperficie también influye de manera importante, ya que el transporte vertical de nitratos hacia la zona eufótica es el factor principal en la regulación de la biomasa y la producción fitoplanctónica en las aguas costeras de la Corriente de California (Hernández-de la Torre *et al.* 2015).

Cabe mencionar que en Australia, De-Lestang *et al.* (2011) observaron en *P. cygnus* una relación positiva con la temperatura marina y negativa con el movimiento del agua relacionada con grados de productividad y estabilidad del hábitat, respectivamente. Además, encontraron una relación negativa con la presencia de copépodos, lo que obliga a analizar la flora y la fauna asociadas a los colectores y la bentónica para determinar posibles relaciones con la abundancia de pueru-

lus de *P. interruptus* en Bahía Asunción. Incluso, De-Lestang *et al.* (2011) mencionan que los colectores pueden proveer indicadores del ambiente local y del impacto del cambio climático.

Por otra parte, Pringle (1986) observó que las mayores concentraciones de los estadios intermedios y finales de larvas filosomas ocurren entre 25° y 28° N y son acarreados hacia el norte alrededor de los 29° N durante marzo y abril cuando el giro anticiclónico se debilita. Este giro es un mecanismo determinante para el asentamiento de postlarvas de *P. interruptus* en primavera en esta región de la PBC (Figs. 3 y 7; Ortuño-Manzanarez 2003, Peñaloza 2008, García-Kauffman 2009, Hernández-Rivas *et al.* 2010, Ruiz-Chavarría 2013). Posteriormente, es probable que el pequeño asentamiento observado a finales del otoño y durante el invierno (Figs. 2 y 3), sea transportado por la contracorriente costera impulsado por los vientos del sureste. Dicha corriente consta de un chorro rápido y angosto que acarrea aguas cálidas desde el sur de Cabo San Lucas hasta Bahía Ballenas, más cercano a la superficie durante el invierno que durante el verano, y particularmente más intensa cuando se presentan las condiciones de El Niño, ya que éste favorece el transporte sur a norte de la corriente Norecuatorial (Pringle 1986, Koslow *et al.* 2012). Cabe mencionar que a partir de 2012 aumentaron los asentamientos a finales del invierno y principios de primavera, que se acentúan más en 2013 (Fig. 7). Lo anterior pudo ser influenciado por un aumento en la temperatura que anticipó el desove de langosta roja (Vega-Velázquez 2003) y acortó el tiempo del ciclo larvario (Ortuño-Manzanarez 2003, Peñaloza-Mayorazgo 2008, García-Kauffman 2009, Hernández-Rivas *et al.* 2010, Ruiz-Chavarría 2013), además de ocurrir cambios en la dinámica de corrientes, ya que en el verano de 2012 se dispó La Niña y en invierno de 2013-2014 se manifestaron condiciones cálidas asociadas a La Mancha (Bond *et al.* 2015, Hartmann 2015). Ambos eventos influyeron en la intensidad de las surgencias costeras.

Los resultados de este trabajo sugieren que las transiciones de eventos climatológicos en el Pacífico nororiental favorecieron el asentamiento de *P. interruptus* en la costa de Bahía Asunción. García-Kauffman (2009), por su parte, plantea que las transiciones de condiciones frías a cálidas

o tendientes a la normalidad parecen tener una fuerte relación con el éxito de eventos reproductivos y la sobrevivencia de estadios larvarios, ya que durante La Niña de 1999-2001 observó que los otoños con influencia de condiciones frías favorecieron la abundancia de filosomas y puerulus de langosta roja. Esto pudiera dar pistas para explicar la variabilidad del asentamiento de *P. interruptus* en Bahía Asunción entre 2010 y 2014 (Fig. 7).

No obstante, hay que recordar que durante eventos La Niña, el nivel del mar disminuye y el flujo hacia el Ecuador se fortalece, lo que se refleja en bajas capturas cuatro años después (Phillips y Booth 1994). En los resultados del presente estudio se observó un pobre asentamiento de postlarvas en la costa de Bahía Asunción durante 2011 (Figs. 3 y 5) lo que coincide con altos índices de surgencias costeras y anomalías negativas de la TSM (Fig. 8). García-Kauffman (2009) también encontró menor sobrevivencia de filosomas en la clase anual de 1999-2000 en comparación de la 2000-2001. Esto sugiere que la transición de condiciones neutras a frías afectó de forma negativa el asentamiento postlarval de *P. interruptus*.

En contraste, Guzmán-del-Prío *et al.* (2003) observaron grandes asentamientos durante un evento El Niño muy fuerte en 1997-1998 en la zona costera de Bahía Tortugas. Los autores obtuvieron altas abundancias de hasta 33.3 individuos/unidad de esfuerzo durante los meses de mayor intensidad del fenómeno, y registraron TSMa por arriba de +4 °C. Adicionalmente, Koslow *et al.* (2012) obtuvieron una correlación positiva de la abundancia de estadios filosoma I de *P. interruptus* en condiciones cálidas (TSM, El Niño y PDO). Phillips *et al.* (1994) documentaron que en México durante años El Niño, el nivel del mar aumenta y el flujo hacia los polos se fortalece y brinda buenas capturas con un desfase de cuatro años.

Durante el invierno boreal 2013-2014 inició un calentamiento anómalo en el Pacífico nororiental debido a anomalías positivas en la presión atmosférica al nivel del mar, una advección fría relativamente débil del océano superior y una reducida pérdida de calor del océano a la atmósfera. Se registraron niveles de clorofila extremadamente bajos durante el invierno-primavera 2014. Dicho evento fue denominado como La Mancha (*The Blob*) en junio 2014 y ocasionó

un debilitamiento en la intensidad de surgencias costeras en la costa oeste de Estados Unidos (Bond *et al.* 2015). Los resultados indicaron una recuperación del grado de asentamiento de enero 2013 a junio 2014 (Fig. 8). Sin embargo, las condiciones cálidas prolongadas por la interacción de La Mancha 2013-2014 y El Niño 2015-2016 afectaron el ecosistema de la región central de la PBC, ya que se observaron desprendimientos de macroalgas, como *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus) C. Agardh 1820 y *Ulva* spp., especies predilectas para el refugio de postlarvas de langosta roja, abulones *Haliotis* spp. muertos varados en playa y cambios en la comunidad asociada a los colectores, por ejemplo, se observó mayor presencia de *Padina* spp. en lugar de *Ulva* spp. No obstante, la interrupción en el asentamiento de postlarvas fue principalmente porque vararon los colectores debido a la incidencia de fenómenos meteorológicos en la zona Pacífico Norte de la PBC; pero los impactos biológicos mencionados probablemente estén asociados en la escasez de postlarvas a partir del verano de 2014. Algunos autores discuten que la variabilidad del sistema océano-atmosfera en los trópicos contribuyó de manera importante al desarrollo del invierno anómalo en 2014, en particular las anomalías de la TSM en el Pacífico occidental (Hartmann 2015).

Finalmente, los resultados indican que la relación entre el asentamiento de postlarvas de *WP. interruptus* y la variabilidad ambiental en la costa de Bahía Asunción no es bien descrita mediante el modelo de regresión lineal simple (Tabla 1), incluso si se aplica un modelo de regresión múltiple; sin embargo, al omitir datos *outliers* del IA, los coeficientes de determinación (r^2) en el modelo lineal aumentaron a 12% y 9% para la TSM e IS, periodo 2010 a 2018, respectivamente. Con las anomalías aumentaron ligeramente, pero con las fenologías disminuyeron, que, cabe precisar, fueron las mejores variables explicativas para el asentamiento de postlarvas de *P. interruptus* en Bahía Asunción, al representar 14% y 35.5% de la variabilidad en los periodos 2010-2018 y 2010-2014, respectivamente. Esto indica que la abundancia de postlarvas es afectada por el comportamiento ambiental.

Quizás esta relación se explique mejor utilizando algún modelo curvilíneo (Daniel 2012) o un (modelo lineal generalizado), incorporando

información del stock reproductivo (hembras ovígeras y tiempos de desove), otras variables ambientales (Clorofila a y Producción primaria nueva, entre otras), incluyendo nuevos índices de surgencias costeras, como el CUTI (Coastal Upwelling Transport Index) y el BEAUTI (Biological Effective Upwelling Transport Index) (De-Lestang *et al.* 2014, Hernández-de la Torre *et al.* 2015, Jacox *et al.* 2018). Adicionalmente, el periodo y la intensidad del asentamiento en este monitoreo y en anteriores (Vega-Velázquez *et al.* 2001², Guzmán-del Próo *et al.* 1996, 2003) varían considerablemente por diversos factores independientes del ambiente, como el número de unidades de esfuerzo, el diseño del colector y la profundidad a la que se instalaron. Esto último sugiere que podría existir una profundidad óptima, que aún queda por investigar, donde ocurre el asentamiento de postlarvas de *P. interruptus* en la costa occidental de la PBC.

Conclusiones

- El periodo de asentamiento de postlarvas de *P. interruptus* en la costa de Bahía Asunción, BCS, ocurre en la superficie principalmente durante la primavera-verano, con un segundo pico menor a finales del otoño y en invierno.
- El pico principal del asentamiento de postlarvas de *P. interruptus* en Bahía Asunción, BCS, coincide con el debilitamiento de surgencias costeras y con el calentamiento estacional del mar.
- Los fenómenos océano-atmosféricos como La Niña 2011-2012, La Mancha 2013-2014, El Niño 2015-2016 y La Niña 2017, afectaron la intensidad y el periodo de asentamiento de postlarvas de *P. interruptus* en la costa de Bahía Asunción, BCS. Particularmente en los momentos de transición de los eventos climáticos se observaron resultados positivos.

Literatura citada

Arteaga-Ríos LD, J Carrillo-Laguna, J Belmar-Pérez J, S Guzmán-del Próo. 2007. Postlarval settlement of California spiny lobster *Panulirus interruptus* in Bahía Tortugas, Baja California

- and its relationship to the commercial catch. *Fisheries Research* 88(1): 51-55. DOI: 10.1016/j.fishres.2007.07.007.
- Bakun A. 1996. *Patterns in the ocean. Ocean processes and marine population dynamics*. California Sea Grant College System/NOAA/Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, México. 323p.
- Briones-Fourzán P, D Gutiérrez-Carbonell. 1991. Variaciones en el patrón de reclutamiento de postlarvas de langosta *Panulirus argus* en Bahía de la Ascensión, México. *Revista de Investigaciones Marinas* 12: 45-56.
- Bond NA, MF Cronin, H Freeland, N Mantua. 2015. Causes and impacts of the 2014 warm anomaly in the NE Pacific. *Geophysical Research Letters* 42(9): 3414-3420. DOI: 10.1002/2015GL063306.
- Castañeda-Fernández de Lara V. 2005. Caracterización del hábitat de juveniles de la langosta roja *Panulirus interruptus* (Randall, 1839) en dos sitios ubicados en su zona de mayor abundancia en Baja California Sur, México. Tesis de Doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC. México. 33p.
- Daniel WW. 2012. *Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud*. Limusa-Wiley. México. 755p.
- De-Lestang S, J How, S Foster. 2011. Assessing possible environmental causes behind the reduced colonisation of Western Rock lobster puerulus collectors by a wide suite of species. FRDC Report-Project 2008/085. *Fisheries Research Report* No. 218. Department of Fisheries, Western Australia. 60p.
- De-Lestang S, N Caputi, M Feng, A Denham, J Penn, D Slawinski, A Pearce A, J How. 2014. What caused seven consecutive years of low puerulus settlement in the western rock lobster fishery of Western Australia? *ICES Journal of Marine Science* 72(1): i49-i58. DOI: 10.1093/icesjms/fsu177
- Engle JM. 1979. Ecology and growth of juvenile California spiny lobster *Panulirus interruptus* (Randall). Doctor of Philosophy Dissertation. *Sea Grant Dissertation Series*. Institute for Marine and Coastal Studies, University of Southern California, USCSC-TD-03-79. 298p.
- García-Paredes J. 2011. Asentamiento de larvas puerulus y postpuerulus de las langostas *Panulirus* spp. en la bahía de Mazatlán, Sinaloa. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. México. 63p.
- García-Kauffman I. 2009. Variación espacio-temporal de estadios larvarios de langosta roja *Panulirus interruptus* (Randall, 1840) en la costa occidental de la península de Baja California, en un periodo anómalo frío (1999-2001). Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. México. 92p.
- George RW, CB Kensler. 1970. Recognition of marine spiny lobsters of the *Jasus lalandii* group (Crustacea: Decapoda: Palinuridae). *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 4(3): 292-311. DOI: 10.1080/00288330.1970.9515348.
- Gracia A, CB Kensler. 1980. Las langostas de México: su biología y pesquería. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*, Universidad Nacional Autónoma de México 7(2): 111-127.
- Guzmán-del Próo SA, J Carrillo-Laguna, J Belmar-Pérez, S De-la-Campa, BA Villa. 1996. The puerulus settlement of red spiny lobster (*Panulirus interruptus*) in Bahía Tortugas, Baja California, México. *Crustaceana* 69(8): 949-957.
- Guzmán-del Próo SA, L Carreón-Palau, J Belmar-Pérez, J Carrillo-Laguna, R Herrera-Fragoso. 2003. Effects of the “El Niño” event on the recruitment of benthic invertebrates in Bahía Tortugas, Baja California Sur. *Geofísica Internacional* 42(3): 429-438.
- Hartmann, DL. 2015. Pacific sea surface temperature and the winter of 2014. *Geophysical Research Letters* 42(6): 1894-1902. DOI: 10.1002/2015GL063083.
- Hernández-de la Torre B, R Aguirre-Gómez, G Gaxiola-Castro, S Álvarez-Borrego, A Gallegos-García, F Rosete-Vergés, G Bocco-Verdinelli. 2015. Ordenamiento ecológico marino en el Pacífico norte mexicano: propuesta metodológica. *Hidrobiológica* 25(2): 151-163.
- Hernández-Rivas ME, MC Peñaloza-Mayorazgo, R González-Armas. 2010. Fase larval de la langosta roja durante 1997-1999. En: G Gaxiola-Castro, R Durazo (eds.). *Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California, 1997-2007*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California. México. pp: 381-396.
- Jacox GM, CA Edwards, EL Hazen, SJ Bograd. 2018. Coastal upwelling revisited: Ekman, Bakun, and improved upwelling indices for the U.S. West Coast. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 123. DOI: 10.1029/2018jc014187
- Johnson MW. 1960. The offshore drift of larvae of the California spiny lobster *Panulirus interruptus*. *Symposium on the Changing Pacific Ocean in 1957 and 1958. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*. Volume VII: 147-161.

- Koslow JA, L Rogers-Bennett, DJ Neilson. 2012. A time series of California spiny lobster (*Panulirus interruptus*) phyllosoma from 1951 to 2008 links abundance to warm oceanographic conditions in southern California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report* 53: 132-139.
- Ortuño-Manzanarez G. 2003. Abundancia y distribución de larvas filosoma de langosta roja (*Panulirus interruptus*) en la parte sur de la corriente de California durante el 2000. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. México. 148p.
- Parker KP. 1972. Recruitment and behavior of puerulus larvae and juveniles of the California spiny lobster, *Panulirus interruptus*. Tesis de Maestría. San Diego State University. 91p.
- Peñaloza-Mayorazgo MC. 2008. Dinámica larval de langosta roja (*Panulirus interruptus*) en la costa occidental de la Península de Baja California, México, durante el ENOS, 1997-1999. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. México. 75p.
- Phillips BF, JD Booth. 1994. Design, use and effectiveness of collectors for catching the puerulus stage of spiny lobster. *Reviews in Fisheries Science* 2(3): 255-289. DOI: 10.1080/10641269409388559
- Phillips BF, AF Pearce, R Litchfield, SA Guzman-del-Próo. 1994. Spiny lobster catches and the ocean environment. In: BF Phillips, JS Cobb, J Kittaka (eds.). *Spiny Lobsters Management*. Fishing News Books. UK. pp: 250-261.
- Phillips BF, PS McWilliam. 2009. Spiny lobster development: where does successful metamorphosis to the puerulus occur? A review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 19(2): 193-215. DOI: 10.1007/s11160-008-9099-5
- Pringle JD. 1986. California spiny lobster (*Panulirus interruptus*) larval retention and recruitment: a review and synthesis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 43(11): 2142-2152. DOI: 10.1139/f86-263
- Ruiz-Chavarría JA. 2013. Distribución y abundancia de larvas de langosta roja (*Panulirus interruptus*) en la costa occidental de la Península de Baja California durante 2006-2008. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. México. 68p.
- Serfling SA, RF Ford. 1975. Ecological studies of the puerulus larval stage of the California spiny lobster, *Panulirus interruptus*. *Fishery Bulletin* 73(2): 360-377.
- Shaw WN. 1986. Species profiles: life histories and environmental requirements of coastal fishes and invertebrates (Pacific Southwest) -spiny lobster. U.S. Fish Wild. Serv. Biol. Rep. 82(11.47). U.S. Army Corps of Engineers, TR EL-82-4. 10p.
- Vega-Velázquez A. 2003. Reproductive strategies of the spiny lobster *Panulirus interruptus* related to the marine environmental variability off central Baja California, México: management implications. In: O Tully, J Freire, J Addison (eds.). *Life histories, assessment and management of crustacean fisheries*. *Fisheries Research* 65: 123-135. DOI: 10.1016/j.fishres.2003.09.011
- Vega-Velázquez A. 2006. Langosta de la península de Baja California. En: F Arreguín-Sánchez, L Beléndez-Moreno, I Méndez-Gómez-Humarán, R Solana-Sansores, C Rangel-Dávalos (eds.). *Sustentabilidad y pesca responsable en México: evaluación y manejo 2001-2006*. Instituto Nacional de la Pesca/SAGARPA. México. pp: 155-210.

Recibido: 12 de febrero de 2018.

Aceptado: 23 de septiembre de 2019.