



Universidad del Mar

Campus Puerto Ángel

Variación estacional del reclutamiento de postlarvas de camarón
Penaeus setiferus (Linnaeus, 1767) y *Penaeus duorarum*
(Burkenroad, 1939) en la Laguna de Términos, Campeche, México.

TESIS

Que para obtener el Grado de Doctora en Ecología Marina

Presenta

M. en C. Araceli Puentes Salazar

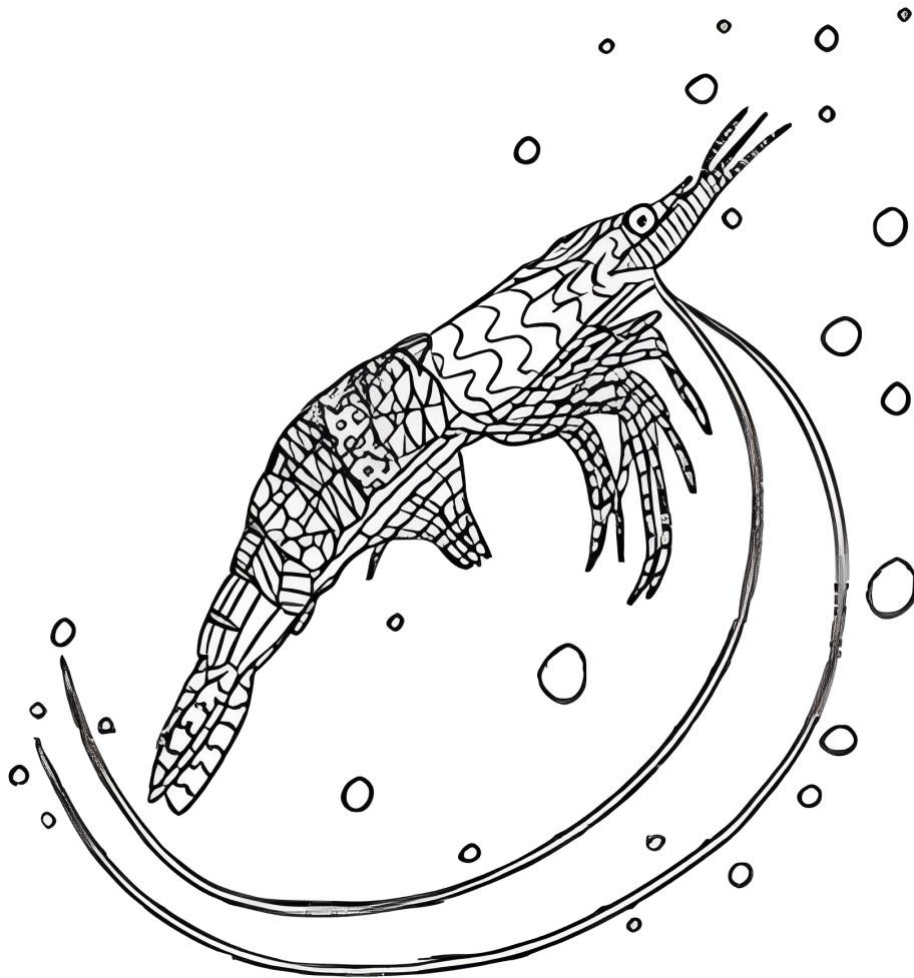
Director

Dr. Pedro Cervantes Hernández

Puerto Ángel, Oaxaca 2023

“Para el científico existe la alegría de buscar la verdad que casi contrarresta las deprimentes revelaciones de la verdad”

H.P. Lovecraft



“El océano es más antiguo que las montañas y está cargado con los recuerdos y los sueños del tiempo”

H.P. Lovecraft

DEDICATORIA

A Dios quien me ha permitido poder continuar, me ha acompañado y ha colocado en mi camino a las personas correctas para guiarme.

A la razón de levantarme cada día a esforzarme, Balam.

A mis padres Araceli y Antonio por sus consejos y paciencia, todo lo que hoy soy es gracias a ellos.

A mi hermana y cuñado, Rosangel y Gustavo que sin su gran apoyo no hubiera logrado culminar este proyecto.

Y a ti Jeffrey, que devolviste la luz a mi alma, gracias por llegar a mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado durante la realización de este proyecto, y a la Universidad del Mar (UMAR) al brindar la oportunidad de cursar los estudios de posgrado.

Al proyecto: “Monitoreo de postlarvas de camarón y peces en la Laguna de Términos, Campeche, México” del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) a cargo del Dr. Mario Alejandro Gómez-Ponce.

Al Dr. Pedro Cervantes-Hernández por la paciencia, dedicación, oportunidad y dirección de esta tesis. Por todo el conocimiento compartido. Además de proporcionar su amistad incondicional a lo largo de estos años. Gracias por ser un gran mentor y amigo.

Al Dr. Mario Alejandro Gómez-Ponce por la oportunidad de ser parte de su proyecto, así como el apoyo otorgado en la realización de las estancias doctorales (alojamiento, salidas de campo, e identificación de las especies), en la publicación del artículo y elaboración de esta tesis.

A los revisores de esta tesis: Dra. Genoveva Cerdenares-Ladrón de Guevara, a la Dra. Claudia Araceli Dávila-Camacho, Dr. Antonio López-Serrano, y al Dr. Edgar Robles-Zavala; y los revisores externos: Dr. Luis Eduardo Calderon, y al Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega, por todo el tiempo y dedicación invertido en este trabajo.

A la revisora la Dra. María Auxilio Esparza-Álvarez [†], quien con ella comenzó este proyecto, a sus oportunas sugerencias, su esfuerzo, comprensión, y sincera amistad.

A los amigos quienes siempre están para dar ánimo cuando todo parecía venirse abajo: Irene, David, Liliana, Efraín, Sandra, Gandhi, Tonatiuh, Sve y Sol.

Resumen

En la Sonda de Campeche, las especies de camarón con importancia comercial son *Penaeus setiferus* y *Penaeus duorarum*. Durante el período de 2010 a 2012, se registró mensualmente la densidad de postlarvas que ingresaron por la boca de “Puerto Real” en la Laguna de Términos, considerando tres niveles de profundidad (1 m, 4 m y 9 m), y las variables hidrológicas de la velocidad de corriente (VC), la temperatura del agua (TA), la salinidad (S) y la descarga fluvial (Df). Se identificó la profundidad dominante de ingreso de las postlarvas, y la variación estacional de la temporada de reclutamiento lagunar (RL) en ambas especies de camarón en relación con las variables hidrológicas. El RL inicia cuando los adultos de camarón se reproducen en el ambiente marino, pero en el presente trabajo, ejemplares adultos no fueron capturados. Así, para delimitar indirectamente a la temporada de reproducción, se utilizó al RL como una señal asociada a la reproducción (producción de postlarvas). Las temporadas de RL y reproducción se utilizaron para evaluar la pertinencia de los sistemas de veda implementados. La profundidad dominante de ingreso se registró a 4 m, y las condiciones óptimas de ingreso para *P. setiferus* son de $VC = 0.76 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, $TA = 30.2^\circ\text{C}$, $S = 31.5 \text{ ups}$, y $Df = 337 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$; y para *P. duorarum* de una $VC = 0.72 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, $TA = 30.5^\circ\text{C}$, $S = 32.7 \text{ ups}$, y $Df = 338 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Las postlarvas de *P. setiferus* ingresaron entre principios de junio y hasta septiembre, con mayor densidad en agosto. Las postlarvas de *P. duorarum* ingresaron entre mediados de junio hasta septiembre, con la mayor densidad en agosto. Durante el inicio y máximo del RL para ambas especies, las condiciones hidrológicas fueron incrementos en la TA y Df mientras que la S y VC disminuyeron. El descenso del RL sucedió cuando la TA y Df disminuyeron mientras que la S y VC aumentaron. Se demostró, que ocurren dos períodos reproductivos (mayo a septiembre, y noviembre a enero) en ambas especies de camarón. Finalmente se determinó que, las vedas no protegen a las temporadas de reproducción, en su lugar protegen el RL. Para incrementar el nivel de captura del recurso camarón, las vedas deben re-implementarse de agosto a noviembre.

Palabras clave: camarón blanco, camarón rosado, reclutamiento, reproducción, veda.

Índice general

Resumen.....	v
1 Introducción.....	1
2 Antecedentes.....	6
3 Justificación.....	21
4 Hipótesis.....	22
5 Objetivos.....	23
5.1 Objetivo general.....	23
5.2 Objetivos particulares.....	23
6 Área de estudio.....	24
7 Materiales y métodos.....	27
7.1 Información poblacional e hidrológica.....	27
7.1.1 Muestreo biológico.....	28
7.1.2 Profundidad de ingreso de postlarvas.....	30
7.1.3 Hidrología de la profundidad dominante de ingreso de postlarvas.....	32
7.2 Temporadas de reclutamiento lagunar y estacionalidad hidrológica (análisis retrospectivo).....	33
7.3 Simulación de la densidad de postlarvas.....	35
7.4 Temporada de reproducción.....	43
7.5 Temporada de veda.....	46
8 Resultados.....	47
8.1 Profundidad preferente de ingreso de postlarvas.....	47
8.2 Temporadas de reclutamiento lagunar y estacionalidad hidrológica (análisis retrospectivo).....	53
8.3 Simulación de la densidad de postlarvas.....	65
8.4 Reproducción.....	67
8.5 Veda.....	69
9 Discusión.....	71
9.1 Preferencia de entrada lagunar.....	71
9.2 Reclutamiento lagunar.....	74

9.3	Simulación de la densidad de postlarvas.....	80
9.4	Reproducción.....	84
9.5	Temporada de veda.....	89
10	Conclusión.....	93
11	Referencias.....	95
12	Anexos.....	119

Índice de tablas

Tabla 1. Presencia de postlarvas de peneidos en el golfo de México y Pacífico mexicano. Registro de autores y meses del año (representados por su inicial) en orden cronológico.	11
Tabla 2. Presencia de reproductores peneidos. Registro de autores y meses del año (representados por su inicial) en orden cronológico.	14
Tabla 3. Registro de la relación entre la temporada reproductiva de camarones peneidos y variables oceanológicas, en orden cronológico. Temperatura superficial del mar (TSM); concentración de Clorofila a (Cl-a); relación directamente proporcional (D); relación inversamente proporcional (I).	16
Tabla 4. Período de muestreo.	28
Tabla 5. Matriz de cargas canónicas del Modelo de Correlación Canónica. Variable dependiente (Y_i); variable independiente (X_j); cargas canónicas (C_{ij}).	37
Tabla 6. Matriz de cargas canónicas (factoriales) utilizadas en la predicción de la densidad de postlarvas en la Laguna de Términos. Densidad de postlarvas de <i>P. setiferus</i> (D blanco), y <i>P. duorarum</i> (D rosado); velocidad de corriente (VC); temperatura del agua (TA); salinidad (S); descarga fluvial (Df).	37
Tabla 7. Comparación de los registros interanuales de las variables hidrológicas por profundidad.	50
Tabla 8. Matriz de correlación durante el ascenso del reclutamiento lagunar (junio-agosto) y las variables hidrológicas. Densidad de postlarvas de <i>P. setiferus</i> (D blanco) y <i>P. duorarum</i> (D rosado); velocidad de corriente (VC); temperatura del agua (TA); salinidad (S); descarga fluvial (Df). Estadísticamente significativo (Rojo).	64

Tabla 9. Matriz de correlación durante el descenso del reclutamiento lagunar (septiembre-mayo) y las variables hidrológicas. Densidad de postlarvas de *P. setiferus* (D blanco) y *P. duorarum* (D rosado); velocidad de corriente (VC); temperatura del agua (TA); salinidad (S); descarga fluvial (Df). Estadísticamente significativo (Rojo). 64

Índice de figuras

Figura 1. Tres series de tiempo de captura comercial marina de camarón en el golfo de México.....	18
Figura 2. Densidad de reclutas y reproductores de camarón a lo largo de las vedas de 1998 a 2002.....	20
Figura 3. Localización geográfica de la Laguna de Términos en el Banco de Campeche, México.....	27
Figura 4. Sistema de captura.....	29
Figura 5. Período del flujo de marea	29
Figura 6. Modelo multicapa de clasificación neuronal I.	31
Figura 7. Modelo de función básica radial de regresión neuronal.....	33
Figura 8. Estructura del modelo multicapa de clasificación neuronal II.	36
Figura 9. Localización geográfica de la estación permanente de muestreo en la Laguna de Términos (Boca Puerto Real)	45
Figura 10. Comportamiento mensual de ingreso de postlarvas de <i>P. setiferus</i> (D blanco) en la Laguna de Términos	48
Figura 11. Comportamiento mensual de ingreso de postlarvas de <i>P. duorarum</i> (D rosado) en la Laguna de Términos.....	48

Figura 12. Tendencias de probabilidad para el ingreso de postlarvas de <i>P. setiferus</i> (D blanco) en la Laguna de Términos	49
Figura 13. Tendencias de probabilidad para el ingreso de postlarvas de <i>P. duorarum</i> (D rosado) en la Laguna de Términos	49
Figura 14. Perfil batimétrico de la densidad de la masa de agua entrante en la Boca de “Puerto Real” de 2010 a 2012.	51
Figura 15. Velocidad de corriente (VC) durante el ingreso de las postlarvas de <i>P. setiferus</i> (D blanco) y <i>P. duorarum</i> (D rosado).....	52
Figura 16. Temperatura del agua (TA) durante el ingreso de las postlarvas de <i>P. setiferus</i> (D blanco) y <i>P. duorarum</i> (D rosado).....	52
Figura 17. Salinidad (S) durante el ingreso de las postlarvas de <i>P. setiferus</i> (D blanco) y <i>P. duorarum</i> (D rosado).....	52
Figura 18. Descarga fluvial (Df) durante el ingreso de las postlarvas de <i>P. setiferus</i> (D blanco) y <i>P. duorarum</i> (D rosado).....	53
Figura 19. Ingreso mensual de las postlarvas de <i>Penaeus setiferus</i> (D blanco)...	54
Figura 20. Ingreso mensual de las postlarvas de <i>Penaeus duorarum</i> (D rosado).	54
Figura 21. Temporada de reclutamiento lagunar de <i>P. setiferus</i> (recuadro gris punteado) y <i>P. duorarum</i> (recuadro negro discontinuo)	55
Figura 22. Serie de tiempo mensual original de la velocidad de corriente en Laguna de Términos de 2010 a 2012.....	56

Figura 23. Serie de tiempo mensual original de la temperatura del agua en Laguna de Términos de 2010 a 2012.	57
Figura 24. Serie de tiempo mensual original de la salinidad en Laguna de Términos de 2010 a 2012.	57
Figura 25. Serie de tiempo mensual original de la descarga fluvial en Laguna de Términos de 2010 a 2012.	58
Figura 26. Oscilación cíclica mensual de la velocidad de corriente en Laguna de Términos de 2010 a 2012	58
Figura 27. Oscilación cíclica mensual de la temperatura del agua en Laguna de Términos de 2010 a 2012	59
Figura 28. Oscilación cíclica mensual de la salinidad en Laguna de Términos de 2010 a 2012.....	60
Figura 29. Oscilación cíclica mensual de la descarga fluvial en Laguna de Términos de 2010 a 2012	61
Figura 30. Variación interanual de postlarvas de <i>P. setiferus</i> en la Laguna de Términos.....	66
Figura 31. Variación interanual de postlarvas de <i>P. duorarum</i> en la Laguna de Términos.....	67
Figura 32. Oscilación mensual de la temperatura superficial del mar (línea gris oscuro) y la concentración de clorofila <i>a</i> (línea gris claro) de 2010 a 2012 en la Laguna de Términos.....	68
Figura 33. Temporadas reproductivas y de reclutamiento lagunar	69

Figura 34. Propuesta para la temporada de veda en la Sonda de Campeche (agosto – noviembre, . . . -)	70
Figura 35. Reclutamiento promedio mensual del camarón blanco en la Sonda de Campeche a lo largo de las vedas de 1998 a 2002.	77
Figura 36. Presencia de <i>Penaeus setiferus</i> en el golfo de México y Atlántico.....	81
Figura 37. Distribución de <i>Penaeus duorarum</i> en el golfo de México. La intensidad de sombreado representa la mayor densidad de camarones.	82
Figura 38. Distribución de los camarones blanco y rosado dentro de la Laguna de Términos. <i>P. setiferus</i> (gris claro), <i>P. duorarum</i> (gris oscuro)	83
Figura 39. Captura anual de camarón en el golfo de México.	84
Figura 40. Comparación entre la oscilación anual de captura y la densidad de postlarvas de camarón blanco (A) y rosado (B)	88

Índice de anexos

Anexo 1. Registro mensual de la densidad postlarval y las variables hidrológicas por profundidad.	119
Anexo 2. Valores de activación de la primera capa interna del modelo multicapa de clasificación neuronal I.....	122
Anexo 3. Estructura de las ecuaciones lineales múltiples del modelo multicapa de clasificación neuronal I (Sinapsis 1 y 2).....	122
Anexo 4. Valores de activación de la primera capa interna del modelo de función básica radial de regresión neuronal.....	123
Anexo 5. Estructura de las ecuaciones del modelo de función básica radial de regresión neuronal (Sinapsis 1 y 2)	123
Anexo 6. Densidad mensual de las postlarvas de camarón blanco (D blanco) y rosado (D rosado); y las variables hidrológicas	124
Anexo 7. Valores de activación de la primera capa interna del modelo multicapa de clasificación neuronal II.....	126
Anexo 8. Estructura de las ecuaciones del modelo multicapa de clasificación neuronal II (Sinapsis 1 y 2)	126
Anexo 9. Registro mensual de las variables oceanográficas (2010-2012)	127
Anexo 10. Valores cíclicos de los patrones armónicos de variación de la densidad de las postlarvas y las variables hidrológicas.....	128

Anexo 11. Matriz de probabilidad de las variables poblacionales e hidrológicas	129
Anexo 12. Predicción retrospectiva del modelo de correlación canónica (Ecuación 4).....	130
Anexo 13. Predicción retrospectiva del modelo corregido de la correlación canónica (Ecuación 9).....	132
Anexo 14. Predicción prospectiva del modelo de correlación canónica (Ecuación 9).....	134
Anexo 15. Valores cíclicos de los patrones armónicos de variación de las variables oceanográficas	136
Anexo 16. Captura mensual de los camarones blanco y rosado en el estado de Campeche.....	137

1 Introducción

El ciclo de vida de los peneidos, inicia con los camarones adultos, que habitan en la plataforma continental marina, donde maduran sexualmente, y se reproducen desovando entre 50 mil - 250 mil huevos, dependiendo la especie. La fecundación de los huevos y el desarrollo larvario se lleva a cabo en la columna de agua. La eclosión del huevo se da en horas, emergiendo una larva pelágica de tipo nauplio (con cinco sub-estadios), de alimentación vitelar. Posteriormente, el desarrollo larval continua con los estadios planctófagos: protozoa (con tres sub-estadios), mysis (con tres sub-estadios) y postlarva (aproximadamente tres semanas después del desove) (Gracia, 1992; Gracia *et al.*, 1997; Páez-Osuna, 2001; Cervantes-Hernández *et al.*, 2008b; Gómez-Ponce *et al.*, 2018).

Las postlarvas son transportadas por las corrientes oceánicas hacia la costa e ingresan a los sistemas estuarinos, donde la disponibilidad de alimento es mayor en comparación con el medio marino, lo que favorece en su crecimiento (Páez-Osuna, 2001). Después del ingreso, las postlarvas cambian a hábitos bentónicos y se establecen en la zona litoral somera, enterrándose en el fondo evitando así, ser transportadas nuevamente hacia el mar (Páez-Osuna, 2001). A medida que las postlarvas incrementan la talla, el estadio juvenil se alcanza entre los tres a cuatro meses de edad. Después, regresan gradualmente a las bocas de los sistemas estuarinos para migrar al ambiente marino y establecerse en las zonas de reproducción (cinco - seis meses de edad), donde continúan con el proceso de crecimiento. En los estadios juvenil y adulto (ocho meses de edad), los camarones consumen organismos pertenecientes a la macrofauna, meiofauna y al meiobentos, como bivalvos, gasterópodos, poliquetos, anfípodos, copépodos harpacticoides, bacterias y detritus (Solana-Sansores *et al.*, 1989; Gracia, 1992; Gracia *et al.*, 1997; Páez-Osuna, 2001; Cervantes-Hernández *et al.*, 2008a, 2008b; Cervantes-Hernández, 2015; Gómez-Ponce *et al.*, 2018).

En todos los estadios del ciclo de vida ocurre el deceso de organismos por mortalidad natural. Sin embargo, cuando la postlarva cambia de hábitos planctónicos a bentónicos es considerada como una etapa crítica en la regulación del tamaño poblacional, por que ocurre lo que se conoce como mortalidad compensatoria, la cual consistente en equilibrar el número de organismos que se incorporarán a la población adulta (Gracia, 1992). La zona estuarina actúa como cuello de botella o filtro estabilizador que determina en gran medida el nivel del reclutamiento a la población marina, lo cual depende tanto de la actividad reproductiva en el mar como de las condiciones hidrológicas estuarinas (Gracia, 1992).

De los factores ambientales que afectan el establecimiento de las postlarvas en los sistemas estuarinos destacan la precipitación pluvial y la descarga fluvial (Gracia y Soto, 1990; Gracia, 1992; Cervantes-Hernández, 1999; Aragón-Noriega y García-Juárez, 2002). La descarga fluvial ocasiona que la salinidad en el sistema estuarino disminuya, se incrementa el aporte de nutrientes, la temperatura del agua se estabiliza al regularse la tasa de evaporación, se incrementa el área de establecimiento de las postlarvas y se promueve la migración de los camarones juveniles al ambiente marino (Graham *et al.*, 1981; Day *et al.*, 1982; Boehlert y Mundy, 1988; Galindo-Bect *et al.*, 2000; Forward y Tankersley, 2001; Páez-Osuna, 2001; Re *et al.*, 2004; Criales *et al.*, 2005, 2007, 2011; Chong-Robles *et al.*, 2014). Otros factores importantes a considerar son la profundidad, la turbidez y el tipo de sustrato, el cual proporciona alimento y protección (Gracia, 1992).

Adicionalmente, las interacciones competitivas y la depredación determinan la sobrevivencia y el éxito en el establecimiento de las postlarvas en los sistemas estuarinos. Esta documentado que cuando coinciden dos o más poblaciones de peneidos habitando en un mismo sistema lagunar, existe una diferenciación del área de crianza, que evita las interacciones competitivas y permite su coexistencia (Gracia, 1997a; Cervantes-Hernández *et al.*, 2016).

Además de todo lo antes señalado, en especies de importancia comercial, como es el caso de los peneidos, la pesca es un factor importante a considerar en la regulación del tamaño poblacional. Así, el término “reclutamiento” es referido en pesquerías para definir la entrada de nuevos organismos a la pesca (Gracia, 1992) y como un proceso en el que los organismos juveniles renuevan a la población adulta (Ricker, 1954; Cushing, 1975). Beverton y Holt (1954) definieron el reclutamiento marino como la edad en la cual los organismos son vulnerables a las artes de pesca.

Las definiciones de reclutamiento mencionadas no fueron consideradas en el presente trabajo, porque en el caso de los camarones pertenecientes al género *Penaeus* están documentados dos tipos específicos de reclutamiento, que son más consistentes con los objetivos implementados en el presente estudio: (1) el reclutamiento lagunar es el desplazamiento de las postlarvas de camarón desde el ambiente marino hacia el interior de los sistemas lagunares; (2) el reclutamiento marino es el desplazamiento de camarones juveniles desde el interior de los sistemas lagunares hacia el ambiente marino (Cervantes-Hernández *et al.*, 2012).

En México, la pesca de camarón es importante por su aportación económica y generación de empleos; en el estado de Campeche es la principal actividad productiva que se realiza en la Laguna de Términos (SAGARPA-CONAPESCA, 2011; SAGARPA-INAPESCA, 2012). En esta laguna, *Penaeus setiferus* (camarón blanco) representa de 60.5% al 80.2% de la captura total y *Penaeus duorarum* (camarón rosado) constituye de 13.7% al 37.0% (Arenas-Mendieta y Yáñez-Martínez, 1981; Sánchez-Martínez, 1981; Alarcón-Daowz, 1986). En la Sonda de Campeche, y dentro de los sistemas estuarinos adyacentes, la pesca de los camarones blanco y rosado se rige por las normas oficiales mexicanas, NOM-002-PESC-1993 (SAGARPA, 1993) y NOM-009-PESC-1993 (SAGARPA, 1994), respectivamente; en las cuales se indica el establecimiento de vedas de dos a seis meses continuos iniciando en abril o mayo. Sin embargo, aún con el establecimiento de vedas se ha registrado un decaimiento en la producción de

pesca de camarón, pasando de 1 500 t en 1994 a 1 000 t en 2011 (SAGARPA-INAPESCA, 2014b); motivo por el cual, es considerada como sobre-explotada o incluso colapsada (Arreguín-Sánchez, 2006; SAGARPA-INAPESCA, 2010).

El decrecimiento en la pesca de camarón se atribuye en parte, a que en la Sonda de Campeche, y dentro de los sistemas estuarinos, el hábitat ha sido modificado por las actividades antropogénicas, provocando la disminución de la cobertura vegetal y por lo tanto; deterioro en la calidad de las áreas de crianza. Además, se ha postulado que lo que ha impedido la recuperación de las poblaciones de camarón es un cambio ambiental (Gracia, 1995; Ramírez-Rodríguez y Arreguín-Sánchez, 2003; Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2003; Zetina-Rejón, 2004; Arreguín-Sánchez, 2006). Así mismo se sugiere que la pesca intensiva ha sido, más bien, un factor adicional y no la causa central del deterioro de la pesquería (Arreguín-Sánchez *et al.*, 1997; Gracia, 1997a; Gracia *et al.*, 1997; Arreguín-Sánchez, 2006).

Para el golfo de México, los organismos de pesca en México cuentan con registros de captura comercial para camarón clasificados por categorías de tamaño (de 1972 a 1995); pero esta información fue escasamente utilizada para monitorear las pesquerías de *P. setiferus* y *P. duorarum* con estudios de mortalidad (Klima, 1989; Arreguín-Sánchez *et al.*, 1997; Gracia, 1997b; Cervantes-Hernández y Gracia, 2020), crecimiento en talla y análisis de las temporadas de veda (Gracia, 1997b). Después de 1995, la captura comercial de camarón clasificada por categorías de tamaño dejó de documentarse en el golfo de México (Cervantes-Hernández, 2015).

La captura comercial de camarón clasificada por categorías de tamaño fue utilizada por Cervantes-Hernández (2008) para delimitar las temporadas de reclutamiento lagunar y marino de *Penaeus californiensis* en el golfo de Tehuantepec, México. Ese tipo de registro es una excelente herramienta para monitorear poblaciones de camarón en el ambiente marino (Cervantes-Hernández,

2008). Después de 1998, la captura comercial de camarón clasificada por categorías de tamaño dejó de documentarse en el golfo de Tehuantepec.

Por lo anterior, los trabajos de monitoreo pesquero que antes se realizaban para las poblaciones de camarón están frenados en el golfo de México. Es por esta razón, que para dar continuidad a la generación de información en las poblaciones de camarón, se retomó el uso de las señales de ingreso de postlarvas a los sistemas estuarinos. Flores-Coto *et al.* (2018) y Gómez-Ponce *et al.* (2018), utilizaron estas señales para delimitar en la Laguna de Términos la temporada del reclutamiento lagunar de *P. setiferus* y *P. duorarum*. Sin embargo, los cortos períodos en estudio analizados impidieron delimitar completamente la temporada del reclutamiento lagunar. Pero, se informó que la máxima densidad de postlarvas ingresó de junio a septiembre (durante la temporada de lluvias) y la mínima densidad de postlarvas ingresó en invierno.

Para la Laguna de Términos en la Sonda de Campeche, el reclutamiento lagunar (RL) está parcialmente documentado y las condiciones hidrológicas en las que ocurre no están documentadas. Para llenar estos vacíos de información en las poblaciones de *P. setiferus* y *P. duorarum*, en el presente trabajo se generó respectivamente, información mensual sobre la densidad de postlarvas que ingresaron por la boca de "Puerto Real" e información hidrológica consistiendo en velocidad de corriente (VC), temperatura del agua (TA), salinidad (S) y descarga fluvial (Df) durante el período de 2010 a 2012. Con los resultados obtenidos, se generó información complementaria para identificar la profundidad dominante de ingreso de las postlarvas y discutir sobre los sistemas de veda implementados en la Sonda de Campeche. Así, para la pesquería en cuestión fueron cubiertos aspectos poblacionales, ambientales y de manejo pesquero. Los resultados obtenidos pueden servir para informar sobre el comportamiento y el ordenamiento pesquero de estas pesquerías.

2 Antecedentes

A pesar de la importancia económica de los camarones la información disponible sobre su biología y ecología en las fases larvaria es escasa, en especial postlarval y la transición a los sistemas estuarinos. Yáñez-Arancibia y Day (1988) y Gracia *et al.* (1997), indicaron que los factores que determinan la distribución y la abundancia de las postlarvas de los camarones peneidos en los sistemas estuarinos, están relacionados con factores poblacionales, ambientales y pesqueros. Por lo tanto, para dilucidar como varía estacionalmente la densidad de las postlarvas de *P. setiferus* y *P. duorarum* en la Laguna de Términos, la información relacionada al comprende trabajos que indiquen:

Preferencia de ingreso lagunar y variables ambientales que influyen en el proceso

Los trabajos relacionados con la captura de postlarvas de camarón, en su mayoría consta de un muestreo en donde se realiza un arrastre con red de luz de malla que varía de 303 μm a 505 μm , por un tiempo de entre 10 min a 20 min por arrastre, siendo en total 2 h a 4 h de muestreo, a una profundidad no mayor a 1 m, por períodos de 3 meses a 12 meses, como son las investigaciones de: Bessonov *et al.* (1971); Alonzo-Ruíz y López-Wilchis (1975); Arenas-Mendieta y Yáñez-Martínez (1981); Sánchez-Martínez (1981); Aguilar-Sierra (1985); Alarcón-Daowz (1986); García-del Real (1990); Gracia y Soto (1990); Hettler (1992); Rogers *et al.* (1993); Sheridan (1996); Santos y Uribe-Martínez (1997); Cervantes-Hernández (1999); Aragón-Noriega y García-Juárez (2002); Criales *et al.* (2011); SAGARPA-INAPESCA (2012; 2014a). Los cuales al carecer de un muestreo a diferentes profundidades de la columna de agua, el estudio se encuentra sesgado. Por otra parte, al variar en la temporalidad de muestreo, registran presencia de postlarvas en diferentes meses del año.

Investigaciones más completas en torno al método de captura en la Laguna de Términos, realizaron muestreos a tres profundidades: superficie (0.5 m a 1 m),

a media columna de agua (3.5 m a 4.5 m) y fondo (6.5 m), estos trabajos señalaron que las postlavas ingresan a los sistemas estuarinos en distintas profundidades a través del tiempo. Flores-Coto *et al.*, (2010), realizaron muestreos de abril a noviembre de 1997, mediante un ANOVA ($p < 0.05$) encontraron que existen diferencias significativas entre las tres profundidades (superficie, media agua y fondo), la mayor inmigración de postlarvas de *P. setiferus* y *P. duorarum*, se registró en: superficie durante junio y noviembre; a media agua fue en agosto y octubre; mientras que, en el fondo ocurrió durante abril y mayo. Sin embargo, estos autores realizaron el mismo estudio de marzo a noviembre de 2013. Reportaron que, no hay diferencias significativas entre las densidades de postlarvas de camarón blanco ($F = 3.014$, $F_{0.05} (2.573) = 2.376$, $p > 0.05$) y rosado ($F = 3.014$, $F_{0.05} (2.573) = 0.587$, $p > 0.05$) a través de la columna de agua (Flores-Coto *et al.*, 2018).

Por otro lado, Gomez-Ponce *et al.*, (2018) analizaron mediante un ANOVA factorial y la prueba LSD Fisher, la abundancia de postlarvas de camarón blanco en los tres niveles de profundidad. Reportaron que, existen diferencias significativas a través de la columna de agua ($F = 3.01$, $F_{0.05} (2.720) = 14.08$, $p < 0.05$). Asimismo, la mayor abundancia de postlarvas se registro a profundidad de media agua.

Estas investigaciones pueden no coincidir en los resultados obtenidos, por el análisis empleado y el período de estudio, el cual implica variación ambiental. Referente a estudios que relacionan la abundancia de postlarvas y factores abióticos se encuentran:

Arenas-Mendieta y Yáñez-Martínez (1981), quienes mencionan que, las postlarvas de camarón al ser parte del plancton, no se desplazan contra corriente, por lo tanto, los flujos de marea favorecen su ingreso a los sistemas estuarinos. Para las postlarvas de *P. setiferus* y *P. duorarum*, Alarcón-Daowz (1986) reportó una correlación directa no significativa entre el flujo de corrientes y el ingreso de

postlarvas de camarón a los sistemas estuarinos. Sin embargo, una correlación directa y significativa fue documentada por Gracia *et al.* (1997) y Gómez-Ponce *et al.* (2018). Por otro lado, Flores-Coto *et al.* (2010), encontraron que la relación varía de directa a inversa, significativa o no significativa, dependiendo del mes de muestreo, siendo solo directa y significativa en agosto y junio para *P. setiferus* y en noviembre para *P. duorarum*. En estos trabajos, la velocidad de corriente osciló de $0.2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a $1.14 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ en la Laguna de Términos.

La influencia de las descargas fluviales sobre la producción de postlarvas de camarón está documentada por diversos autores, quienes señalan que existe una relación directamente proporcional (Ruello, 1973; Solana-Sansores y Arreguín-Sánchez, 1993; Galindo-Bect *et al.*, 2000; Churchill, 2001; Gracia y Soto, 1990; Gracia *et al.*, 1997; Cervantes-Hernández, 1999; Aragón-Noriega y García-Juárez, 2002; Cervantes-Hernández, 2015). Durante la temporada de lluvias en la Laguna de Términos, se ha registrado que la salida de los juveniles de *P. duorarum* inicia cuando han acumulado dos meses de precipitación pluvial, para que se favorezcan incrementos en el reclutamiento lagunar (Gracia y Soto, 1990; Gracia *et al.*, 1997; Cervantes-Hernández, 1999; Aragón-Noriega y García-Juárez, 2002).

Dentro de los sistemas estuarinos, y particularmente en la Laguna de Términos se ha documentado que la variación estacional en la abundancia de peneidos no está correlacionada con los cambios de TA (Arenas-Mendieta y Yáñez-Martínez, 1981; Aguilar-Sierra, 1985; Alarcón-Daowz, 1986; Gómez-Ponce *et al.*, 2018). Sin embargo, García-del Real (1990) reportó que cuando TA se incrementa, se genera una correlación inversa. Por el contrario, Gracia y Soto (1990) y Flores-Coto *et al.*, (2010) indicaron que máximos de entrada de postlarvas de *P. setiferus* y *P. duorarum* están en correlación directa con el incremento de TA. Asimismo señalaron que la TA en la laguna varía entre 25.2°C a 32°C .

Por otro lado, en la Laguna de Términos, en lo que respecta a S, Aguilar-Sierra (1985) y Gómez-Ponce *et al.* (2018) reportaron que no hay correlación significativa con la variación estacional en la abundancia de peneidos. García-del Real (1990) señaló que el incremento en S favorece el aumento de la abundancia de *P. duorarum*. Mientras que, Flores-Coto *et al.* (2010), indicaron que la relación varía directamente o inversamente proporcional a través del tiempo, y solo fue directa y significativa en junio y noviembre para *P. setiferus*. Arenas-Mendieta y Yáñez-Martínez (1981) y Flores-Coto *et al.* (2010), indicaron que el patrón de inmigración de postlarvas de *P. setiferus* y *P. duorarum*, se efectúa en el intervalo de S de 18 ups a 38 ups.

En cultivos larvarios de *Penaeus*, McVey y Fox (1984) reportaron que S entre 25 ups a 35 ups no tiene afectaciones letales en la sobrevivencia. Por otra parte, en cultivos larvarios de *Penaeus vannamei* se registró éxito de sobrevivencia de 60% al 100% con S de 2 ups (Atwood *et al.*, 2003; Salas, 2003; Angulo *et al.*, 2005; Sowers *et al.*, 2006; Arzola-González *et al.*, 2008; Valenzuela *et al.*, 2010). Para esta misma especie, Decamp *et al.* (2003) y Ye *et al.* (2009), reportaron que no hay diferencia significativa en la sobrevivencia a salinidades de 9 ups, 18 ups y 36 ups; por el contrario, Jaime *et al.* (2008) señalaron que la supervivencia de postlarvas a salinidades de 0 ups, 5 ups, 10 ups y 15 ups, resultaron ser significativas. No obstante, se reportó menor sobrevivencia a S de 2 ups en comparación con S de 16 ups (Ogle *et al.*, 1992; Martínez *et al.*, 1996; Laramore *et al.*, 2001).

Arzola-González *et al.* (2008) reportaron que el crecimiento en talla de *L. vannamei* no es afectado por cambios en la S. Por el contrario, Laramore *et al.* (2001) y Decamp *et al.* (2003), reportaron un mejor crecimiento en talla a 30 ups en comparación con 2 ups y 3 ups. Con relación al efecto de la S sobre la biomasa, autores como Bray *et al.* (1994) y Rosas *et al.* (2001), registraron mayores pesos en juveniles de *L. vannamei* cultivados en salinidades de 5 ups y 15 ups, que en los cultivados a 25 ups, 35 ups, 40 ups y 49 ups.

En el caso de los juveniles de *Penaeus monodon*, Ye *et al.* (2009) reportaron que la tasa de supervivencia no fue afectada significativamente en el intervalo de 10 ups a 35 ups. El mayor incremento en peso se reportó en 25 ups. Por lo tanto, esta es S óptima para el cultivo de *P. monodon*.

El crecimiento en talla de *Litopenaeus stylirostris* fue evaluado mediante la tolerancia a S por Pham *et al.* (2012). En todas los estadios del desarrollo larval, la tasa de supervivencia incrementó en 80% cuando S se mantuvo en 35 ups. Para los estadios potlarvales, la reducción a 27 ups favoreció el crecimiento en talla.

Porchas-Cornejo *et al.* (2000) evaluaron el crecimiento larvario en talla, y la supervivencia de *Farfantepenaeus californiensis* en cultivos a salinidades de 30 ups, 33 ups, 36 ups y 38 ups y TA de $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Encontraron que existen diferencias significativas entre los tratamientos para el crecimiento ($p < 0.05$) y no significantes para la supervivencia ($p > 0.05$); sin embargo, los mejores resultados fueron obtenidos en el intervalo de S de 30 ups a 36 ups para el crecimiento larvario en talla y la supervivencia.

Kumlu *et al.* (2000) analizaron y compararon las tasas de supervivencia de *Penaeus semisulcatus* entre los estadios de protozoa y postlarva, en cultivos sometidos a cuatro temperaturas (22°C , 26°C , 30°C y 34°C) y tres salinidades (25 ups, 30 ups y 35 ups). Las protozoas mostraron una mayor tasa de sobrevivencia del 69% a 22°C y 30 ups, y las postlarvas del 61% a 26°C y 30 ups.

Por lo tanto, en condiciones controladas en laboratorio, las fases larvarias de los camarones peneidos soportan condiciones extremas de salinidad (2 ups hasta 49 ups).

Secuencia temporal de ingreso lagunar

Tabla 1. Presencia de postlarvas de peneidos en el golfo de México y Pacífico mexicano. Registro de autores y meses del año (representados por su inicial) en orden cronológico.

Autor/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Bessonov <i>et al.</i> (1971)												
Alonzo-Ruíz y López-Wilchis (1975)												
Arenas-Mendieta y Yáñez-Martínez (1981)												
Sánchez-Martínez (1981)												
Aguilar-Sierra (1985)												
Alarcón-Daowz (1986)												
Dall <i>et al.</i> (1990)												
García-del Real (1990)												
Gracia y Soto (1990)												
Grijalva-Chon y Barraza-Guardado (1992)												
Hettler (1992)												
Rogers <i>et al.</i> (1993)												
Sheridan (1996)												
Gracia <i>et al.</i> (1997)												
Santos y Uribe-Martínez (1997)												
Medina-Reyna <i>et al.</i> (1998)												
Cervantes-Hernández (1999)												
Sánchez-Meraz y Martínez-Vega (2000)												
Aragón-Noriega y García-Juárez (2002)												
Criales <i>et al.</i> (2005)												
Ramos-Cruz y Ramos-Santiago (2006)												
Galindo-Bect <i>et al.</i> (2007)												
Flores-Coto <i>et al.</i> (2010)												
Criales <i>et al.</i> (2011)												
Cervantes-Hernández <i>et al.</i> (2012)												
SAGARPA-INAPESCA (2012)												
Gómez-Ponce (2013)												
SAGARPA-INAPESCA (2014a)												
Cervantes-Hernández <i>et al.</i> (2017)												
Gómez-Ponce <i>et al.</i> (2018)												
Flores-Coto <i>et al.</i> (2018)												
Cervantes-Hernández y Gracia (2020)												

En el golfo de México, los camarones peneidos se reproducen durante todo el año, lo que sugiere que el arribo de postlarvas es continuo en los sistemas estuarinos (Gracia y Soto, 1990; Gracia *et al.*, 1997). Prueba de ello, se tiene múltiples registros de presencia de postlarvas, en su mayoría, sin especificar el período de máxima abundancia (Tabla 1).

Para las especies consideradas en este estudio están documentadas dos períodos de densidades máximas de ingreso lagunar, para *P. duorarum*, el primero entre febrero y abril; y el segundo de junio a noviembre (Bessonov *et al.*, 1971; Alonzo-Ruíz y López-Wilchis, 1975; Arenas-Mendieta y Yáñez-Martínez, 1981; Sánchez-Martínez, 1981; Aguilar-Sierra, 1985; Alarcón-Daowz, 1986; García-del Real, 1990; Gracia y Soto, 1990; Hettler, 1992; Sheridan, 1996; Santos y Uribe-Martínez, 1997; Flores-Coto *et al.*, 2010; SAGARPA-INAPESCA, 2012; Gómez-Ponce, 2013; Flores-Coto *et al.*, 2018). Para *P. setiferus* es entre marzo y abril; y de junio a noviembre (Bessonov *et al.*, 1971; Alonzo-Ruíz y López-Wilchis, 1975; Arenas-Mendieta y Yáñez-Martínez, 1981; Sánchez-Martínez, 1981; Aguilar-Sierra, 1985; Alarcón-Daowz, 1986; Gracia y Soto, 1990; Flores-Coto *et al.*, 2010; SAGARPA-INAPESCA, 2012; Gómez-Ponce, 2013; Flores-Coto *et al.*, 2018; Gómez-Ponce *et al.*, 2018). Por lo que, para ambas especies existe un amplio intervalo de meses en los que se registran ambos picos, dejando a un lado el desarrollo del reclutamiento lagunar, cuando es el punto máximo, y sí es persistente a través del tiempo.

Persistencia del reclutamiento lagunar

Existe carencia de trabajos que describan en el desarrollo del reclutamiento lagunar, dado que, están enfocados a registrar la presencia de postlarvas y no consideran la variabilidad interanual por el corto período de muestreo. Las escasas investigaciones que describen la variabilidad interanual se orientan a reclutas y reproductores de camarones.

Solana-Sansores *et al.* (1989), simularon la variación interanual de la abundancia de reclutas y reproductores de *Penaeus aztecus*, utilizando la captura comercial de camarón clasificada por categorías de tamaño. La temporada del reclutamiento marino registró máximos en verano y para el reclutamiento lagunar a finales del verano y principios de otoño. Con los resultados del trabajo anterior, Solana-Sansores y Arreguín-Sánchez (1993), implementaron un modelo canónico para explicar la influencia de la precipitación pluvial y el esfuerzo de pesca sobre los reclutamientos lagunar y marino. El esfuerzo de pesca afectó a ambos tipos de reclutamiento y la precipitación pluvial propició el aumento sólo del reclutamiento lagunar ($R_{cc}^2 = 0.99$, $p < 0.05$).

Para *P. californiensis* en el golfo de Tehuantepec, Cervantes-Hernández (2008) estructuró índices poblacionales de reclutas (FR) y reproductores (DA) con análisis de series de tiempo, se documentó que el índice FR es abundante de julio a septiembre y el DA es abundante de octubre a enero. Después, Cervantes-Hernández *et al.* (2008a) correlacionaron estos dos índices con la variación estacional en la temperatura superficial del mar y la concentración de clorofila *a*. La temperatura superficial del mar se correlacionó directamente con el índice FR e inversamente con el índice DA. La concentración de clorofila *a* se correlacionó inversamente con el índice FR y directamente con el índice DA. El índice DA fue creado como una medida directa para delimitar la temporada masiva de reproducción de *P. californiensis*.

Los estudios dan prioridad a reclutas y reproductores dado que se tienen una importancia directa, al capturar y comercializar. Sin embargo, analizar los estadios larvarios, en particular las postlarvas es de suma importancia para tomar medidas y mantener las poblaciones de camarones. No obstante, conocer la temporada reproductiva indica de manera indirecta la presencia de postlarvas.

Evento reproductivo

Existen diversos trabajos orientados a determinar la temporada reproducción de los camarones peneidos (Tabla 2). Estos trabajos son referencias indirectas de la presencia de postlarvas, además, a diferencia de los trabajos de reclutamiento lagunar, las investigaciones sobre la reproducción están desarrolladas de una manera más completa en cuanto al período estudiado, variando desde un año hasta 25 años, utilizando diferentes métodos (histología de gónadas, grupos de edades, series de tiempo, análisis de componentes principales, etc.).

Tabla 2. Presencia de reproductores peneidos. Registro de autores y meses del año (representados por su inicial) en orden cronológico.

Autor, año/ Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
García y Le Reste (1986)	■									■	■	■
Gracia (1989)								■	■			
Gracia y Soto (1990)	■	■								■	■	■
Solana-Sansores y Arreguín-Sánchez (1993)						■	■	■				
Ré-Regis (1996)				■	■			■				
Gracia <i>et al.</i> (1997)						■					■	
Sandoval-Quintero y Gracia (1998)			■	■								
Aragón-Noriega <i>et al.</i> (1999)						■	■	■				
Aragón-Noriega y García-Juárez (2002)						■	■	■				
Sandoval-Quintero y Gracia (2002)		■	■	■	■	■	■	■				
Ramírez-Rodríguez y Arreguín-Sánchez (2003)					■	■	■	■		■	■	■
Aragón-Noriega (2007)					■	■	■	■				
Cervantes-Hernández (2008)	■	■								■	■	■
Cervantes-Hernández <i>et al.</i> (2008a)	■	■								■	■	■
Cervantes-Hernández <i>et al.</i> (2008b)	■	■								■	■	■
Ramos-Cruz (2009)						■						
Giménez-Hurtado <i>et al.</i> (2012)									■	■		
SAGARPA-INAPESCA (2012)	■	■				■		■		■	■	■
SAGARPA-INAPESCA (2014a)	■	■				■		■		■	■	■
Cervantes-Hernández (2015)	■	■	■	■	■	■	■	■			■	■
Marval-Rodríguez <i>et al.</i> (2015)								■				
Cervantes-Hernández <i>et al.</i> (2017)											■	
Cervantes-Hernández y Gracia (2020)	■	■	■	■	■	■	■	■				■

Para las especies consideradas en este estudio están documentadas dos períodos máximos reproductivos. Para *P. setiferus*, el primero es de abril a mayo, mientras que el segundo es de agosto a septiembre (Gracia, 1989; Ré-Regis, 1996). En el caso de *P. duorarum*, el primer período es de mayo a julio, y el segundo es de septiembre a diciembre (Gracia *et al.*, 1997; Ramírez-Rodríguez y Arreguín-Sánchez, 2003). Por lo que, para ambas especies existe un amplio intervalo de meses en los que se registran ambos picos reproductivos.

Asimismo, se tienen registros de las condiciones oceanológicas en las que se presenta la temporada reproductiva. La relación entre la abundancia de camarones reproductores y la temperatura superficial del mar está en controversia, dado que, algunos trabajos exhiben una relación directamente o inversamente proporcional. Por otro lado, la relación entre la abundancia de reproductores y la presencia de clorofila *a*, es indiscutiblemente directamente proporcional (Tabla 3). La presencia de la clorofila *a* es de relevancia porque la cadena trófica se activa en su presencia y los camarones en diferentes estadios larvales pueden luego alimentarse directamente de la biomasa de fitoplancton y zooplancton (Fernández-Álamo *et al.*, 2000; Pedersen y Storm, 2002; Cervantes-Hernández y Gracia, 2020). Por lo tanto, alta concentración de clorofila *a* promueve la supervivencia de las postlarvas de camarones durante el transcurso de las temporadas de reclutamiento lagunar.

Por otro lado, la presencia de los camarones reproductores se ve directamente afectada por la pesca. Debido a la importancia comercial que representa, hay interés en la extracción de estos organismos, por lo que es necesario ver las medidas implementadas para mitigar la reducción de la población por pesca.

Tabla 3. Registro de la relación entre la temporada reproductiva de camarones peneidos y variables oceanológicas, en orden cronológico. Temperatura superficial del mar (TSM); concentración de Clorofila *a* (Cl-*a*); relación directamente proporcional (D); relación inversamente proporcional (I).

Autor, año/Variable	TSM	Cl- <i>a</i>
Ré-Regis (1996)	D	
Aragón-Noriega y García-Juárez (2002)	D	
Sánchez-Meraz (2005)	I	D
Aragón-Noriega (2007)	D	
Cervantes-Hernández <i>et al.</i> (2008a)	I	D
Cervantes-Hernández <i>et al.</i> (2008b)	I	D
Cervantes-Hernández (2015)	I	D

Efecto de la pesquería en la población de camarón

Gracia (1997a) señaló que el aumento del esfuerzo de pesca sobre los juveniles de camarón origina una sobrepesca del crecimiento, ya que se explota a los organismos antes de que se exprese la biomasa individual más alta, lo que ocurre en el ambiente marino, afectando los niveles de la captura global de la pesquería. La reducción en las capturas de los camarones peneidos ha sido estudiado para las principales especies de importancia comercial, en el Pacífico mexicano son *F. californiensis* y *L. vannamei*, mientras que, en el golfo de México son *P. aztecus*, *P. duorarum* y *P. setiferus*.

La especie más estudiada e importante en el Pacífico mexicano es *F. californiensis* con registro de captura en promedio de 20 000 t anuales (Meraz-Sánchez *et al.*, 2013). Cervantes-Hernández *et al.* (2006), señalaron que desde 1960 al 2002 la captura presentó una reducción del 40% en el golfo de Tehuantepec. Utilizaron modelos para estimar el valor de esfuerzo óptimo (Schaefer, Fox y Schnute) los cuales indicaron que la flota debe constar de 84 - 151 barcos y una captura de 1 504 t a 2 673 t, sin embargo, reportaron una fluctuación de 220 a 350 barcos, por lo que, el sobre esfuerzo pesquero ha

provocado que la población este en un nivel crítico de explotación. Asimismo, Meraz-Sánchez *et al.* (2013), determinaron que la población del camarón café en Sinaloa, esta sobre explotada, y mediante el modelo de Schaefer, reportaron que el valor óptimo de captura es 9 050 t y 2 474 viajes por temporada, sin embargo, sugieren una reducción del 20% para que la población se recupere. La evaluación del estado de explotación indicó que, el sistema de vedas implantado para todo el Pacífico mexicano no es funcional, la temporada masiva de reproducción de *F. californiensis* está completamente desprotegida, mientras que los reclutas fueron protegidos en un 90%, se propuso una reimplementación de la temporada de veda de junio/julio a octubre (Cervantes-Hernández, 2008; Cervantes-Hernández *et al.*, 2008a; Cervantes-Hernández *et al.*, 2008b).

La pesquería de *L. vannamei* ha sido estudiada en Sinaloa, Nayarit y el golfo de Tehuantepec, abarcando en conjunto los registros de captura desde 1960 hasta 2010. Estos trabajos concluyen que existe una tendencia de disminución de las capturas tanto en reclutas como reproductores, variando desde el 40% al 65% debido a que la flota camaronera aumentó un 50%. Los modelos para estimar el valor de esfuerzo óptimo (Schaefer, Fox y Schnute), complementados con análisis de talla, peso, edad con análisis de redes neuronales, ciclo y tendencia, han señalado que, la población de *L. vannamei* esta sobre explotada debido a que la captura se encuentra de 30% al 40% sobre la estimación del esfuerzo óptimo, por lo que es necesario recuperar el stock. La evaluación del sistema de cierre implementado indicó que no han funcionado adecuadamente, las temporadas de veda protegen el 100% de los reclutas y solo parcialmente a los reproductores, por lo que se propuso una reimplementación de la temporada de veda de julio a noviembre (Cervantes-Hernández *et al.* 2006; Cervantes-Hernández *et al.*, 2008a; Madrid-Vera *et al.*, 2012; Cervantes-Hernández *et al.*, 2017).

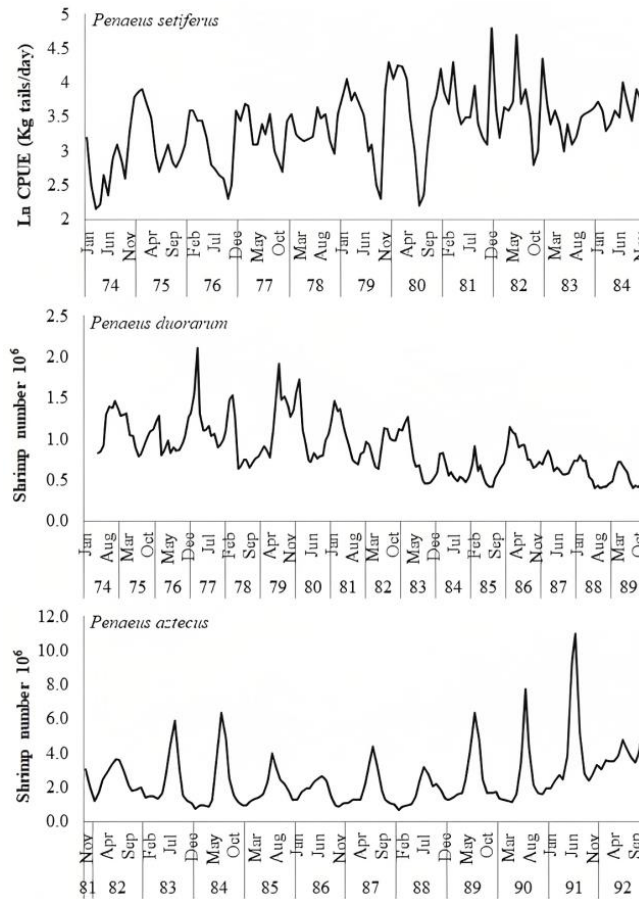


Figura 1. Tres series de tiempo de captura comercial marina de camarón en el golfo de México. Para *P. setiferus* se desconocen las clases de edad con las que se estructuró la serie de tiempo, pero incluye categorías comerciales de adultos reproductores de 10 a 25 colas por libra (Gracia, 1989a). Para *P. duorarum*, la serie de tiempo incluye reproductores entre 8 y 16 meses de edad (Cervantes-Hernández y Gracia, 2011). Para *P. aztecus*, la serie de tiempo incluye reproductores entre 6 y 13 meses de edad (Cervantes-Hernández, 2015).

Por otro lado, en el golfo de México, la especie con mayor importancia comercial es *P. aztecus*, los trabajos referentes a la evaluación del estado de la pesquería se han realizado en la región Tamaulipas-Norte de Veracruz de 1974 a 1995. Se utilizó índices poblacionales de reclutas (FR) y reproductores (DA), con análisis de series de tiempo, se reconstruyó virtualmente la abundancia total (VPA) y se reportó el balance de mortalidad mensual para la población ($M = 0.20$, $F =$

0.54, $Z = 0.74$). El balance final fue $F > M$, concluyendo que esta pesquería estuvo sobre-explotada, siendo un mayor nivel de explotación de los reproductores que de los jóvenes reclutas. Los autores evidenciaron que el sistema de vedas implantado en el golfo de México protege 99% de los reclutas, pero no protege la temporada masiva de reproducción, ni el reclutamiento el reclutamiento lagunar, por tal motivo la pesquería de *P. aztecus* se mantiene con niveles bajos de captura (Figura 1) (Cervantes-Hernández, 2015; Cervantes-Hernández y Gracia, 2020).

Para las especies de estudio en este trabajo (*P. duorarum* y *P. setiferus*) en la Sonda de Campeche, en términos de proporciones, el camarón disminuyó su participación en la captura total, siendo de 95% en 1956 a 30% en 2011. En 1956 la captura fue 12 600 t, mientras que, en 2005 la captura reistrada fue 2 700 t (Ramírez-Rodríguez, 2015). Se han realizados estudios con modelos de simulación considerando crecimiento individual, que utilizaron incrementan la mortalidad natural, análisis de poblacion virtual, y escenarios de manejo, con mortalidad por pesca (F) 30% y disminución del reclutamiento 52% estimado a partir del modelo de Beverton y Holt (Ramírez-Rodríguez, 2002). Asimismo, Cervantes-Hernández y Gracia (2011) reportaron el balance de mortalidad mensual para la población de *P. duorarum*; mortalidad natural $M = 0.21$, mortalidad por pesca $F = 0.25$ y mortalidad total $Z = 0.46$, el balance final fue $F > M$. Estos trabajos concluyen que la pesquería de camarón blanco y rosado se encuentra sobre-explotada; y recientemente se reportan niveles bajos de abundancia (SAGARPA-INAPESCA, 2012). Ramírez-Rodríguez (2002) y Cervantes-Hernández y Gracia (2011; 2020), atribuyen lo anterior a: 1) los valores de mortalidad por pesca se incrementaron en adultos reproductores porque la época reproductiva está totalmente desprotegida, además de la pesca de juveniles en la zona de crianza; 2) por efectos del ambiente sobre la supervivencia en diferentes estadios de desarrollo; 3) las actividades de la industria petrolera en la región sur del golfo de México, que afectan negativamente el reclutamiento marino y lagunar.

Por otro lado, la institución encargada de evaluar este recurso pesquero es el Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA), anualmente implementan monitoreos durante los períodos de veda. Estos trabajos reflejan que existe una gran densidad de reclutas y reproductores, y que la función de la temporada de veda cumple su función (SAGARPA-INAPESCA, 2012). Los indicadores biológicos de ambas temporadas (reproducción y reclutamiento) denotan la presencia de camarones ente 10 000 y 60 000 por Km² en promedio, siendo las hembras maduras entre 10 000 y 33 000 por Km² (SAGARPA-INAPESCA, 2014a; Figura 2), así mismo indica que la densidad de los reclutas en promedio se encuentra ente 100 000 y 500 000 por Km² (SAGARPA-INAPESCA, 2006, 2012, 2014a), es decir, hay más reclutas que reproductores en el período de veda. Sin embargo, estos niveles de captura no tienen comparación en cuanto a volumen extraído durante las temporadas invernales de reproducción, cuando el sistema de vedas no está implementado (Figura 1). Además, sin un ciclo anual completo, que incluya ambos períodos (pesca y veda), es difícil tener certeza de la correcta designación de las medidas de manejo, motivo por el cual es necesario una evaluación de la temporada de veda para *P. duorarum* y *P. setiferus*.

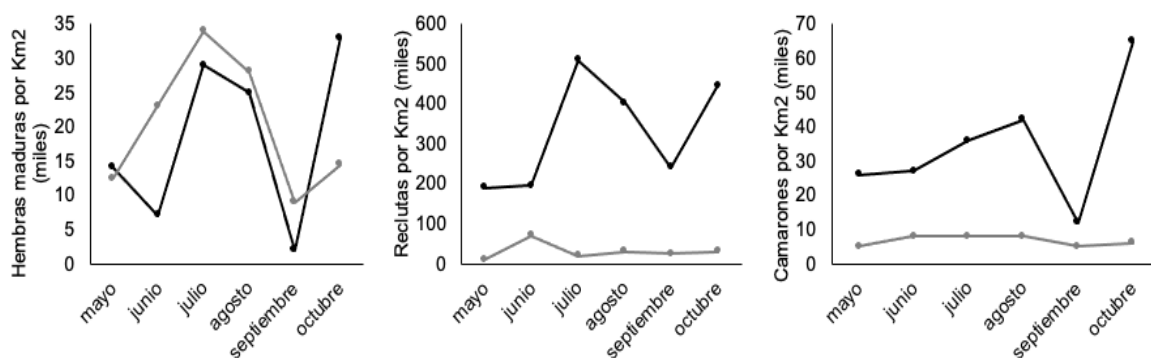


Figura 2. Densidad de reclutas y reproductores de camarón a lo largo de las vedas de 1998 a 2002. Altamar (línea gris); Costa (línea negra). Tomado y modificado de SAGARPA-INAPESCA (2014a).

3 Justificación

Es un hecho la importancia económica que representa el recurso pesquero del camarón, el interés en su adecuado manejo y los esfuerzos encaminados a este fin. No obstante, los resultados de las estrategias implementadas con base en las investigaciones llevadas hasta el momento, han logrado solo mantener las cuotas de captura en una población sobre-explotada.

Diversos autores han documentado cuándo ocurre el mayor ingreso de postlarvas de camarón a la Laguna de Términos; sin embargo, y debido a que en estos trabajos escasamente logran abarcar un solo ciclo anual, dejando de lado la variación anual e interanual, la temporada de reclutamiento lagunar está parcialmente delimitada, además, carecen de información complementaria como las condiciones hidrológicas, y el efecto antropogénico como lo es la captura pesquera, dado que, la densidad de las postlarvas depende de la reproducción de los camarones adultos y su presencia, esta última relacionada a la temporada de veda, en el entendido que, si capturan a la población adulta estos no se reproducen y por ende no hay postlarvas.

Analizando la densidad de postlarvas en la Laguna de Términos durante el 2010-2012, y considerando la relación que éstas tienen con las variables hidrológicas, se abarca la variación necesaria para llenar los vacíos de información antes mencionadas. Con el establecimiento de la temporada de reclutamiento lagunar, podemos detectar la temporada reproductiva indirectamente, ambos estudios necesarios para emitir recomendaciones en la correcta implementación de las vedas. Esto sentará las bases para un mejor aprovechamiento del recurso pesquero, encaminado a proteger a los reclutas y reproductores de *P. setiferus* y *P. duorarum*.

4 Hipótesis

Los camarones se reproducen todo el año, por lo tanto, en cada mes existe la presencia de postlarvas, sin embargo, la variación ambientales pueden influir en la reproducción y por ende, en la densidad de postlarvas generadas, por lo que, se espera observar períodos de máxima y mínima presencia de postlarvas.

Las postlarvas de camarón tienen la capacidad de trasladarse a lo largo de la columna de agua, por lo cual, se espera que estos organismos presenten una profundidad preferente para ingresar a la laguna, debido a condiciones bióticas y abióticas.

Si las postlarvas de *P. setiferus* y *P. duorarum* ingresan a la laguna, entonces se espera que, como estrategia para evitar competencia por los recursos, se presente un desfase temporal entre la migración de cada especie.

Si las postlarvas son transportadas con la corriente, entonces, a mayor flujo de corriente, mayor densidad de postlarvas ingresan a la laguna.

Las postlarvas necesitan alimento para su desarrollo, si la descarga fluvial aporta nutrientes para el incremento de la producción primaria, entonces, se espera que a mayor descarga fluvial, mayor registro en la densidad de postlarvas.

Asimismo, la descarga fluvial por el aporte de agua al sistema provoca que la temperatura del agua y la salinidad disminuya, entonces, si la relación entre la densidad de postlarvas y el aporte de agua es directa como en la hipótesis anterior, se espera que, a menor temperatura de agua y salinidad, menor densidad de postlarvas ingresan a la laguna.

El uso de las series de tiempo para analizar la variación estacional del ingreso de postlarvas, se presenta como una herramienta eficaz con la que se

espera delimitar confiablemente las temporadas de reclutamiento lagunar de *P. setiferus* y *P. duorarum*. Si al simular la densidad de las postlarvas de manera prospectiva, no se presentan modificaciones estacionales (en comparación con los resultados retrospectivos), entonces la delimitación de las temporadas de reclutamiento se considerará plenamente confiable.

Si las postlarvas provienen de la reproducción, entonces, se espera que la máxima densidad de postlarvas indique la máxima temporada de reproducción, considerando el desarrollo larval.

Si el registro de captura de camarón a descendido aún con medidas de manejo como es el establecimiento de una temporada de veda, entonces, se espera encontrar que la veda no esta bien establecida.

5 Objetivos

5.1 Objetivo general

Analizar el ingreso y la variación estacional de la densidad de postlarvas de *P. setiferus* y *P. duorarum* en la Laguna de Términos durante el período 2010 - 2012.

5.2 Objetivos particulares

- Determinar la estrategia dominante de ingreso en la columna de agua (1 m, 4 m y 9 m), de postlarvas a la Laguna de Términos a través de la Boca “Puerto Real”.
- Establecer las condiciones hidrológicas (velocidad de corriente, temperatura del agua, salinidad y descarga fluvial) óptimas de ingreso de las postlarvas a través de la columna de agua.

- Analizar el desarrollo de las temporadas de reclutamiento lagunar de *Penaeus setiferus* y *Penaeus duorarum*, y su relación con las variables hidrológicas (velocidad de corriente, la temperatura del agua, la salinidad y la descarga fluvial).
- Validar la persistencia de las temporadas de reclutamiento lagunar.
- Establecer la temporada reproductiva de los camarones *Penaeus setiferus* y *Penaeus duorarum* en la Sonda de Campeche.
- Determinar la pertinencia de los sistemas de veda implementados en la Sonda de Campeche.

6 Área de estudio

Ordoñez (1936) describió el Banco de Campeche como una amplia plataforma carbonatada con topografía casi llana; limitado al oeste por la unidad tectónica cuatro de la cuenca Macuspana-Campeche y al este, por el estrecho de Yucatán. El extremo oeste, está fuertemente influenciado por aguas estuarinas y fluviales provenientes de la Laguna de Términos, además, la sedimentación se modifica gradualmente de carbonatada a terrígena (Ordoñez, 1936; Gutiérrez-Estrada y Castro-Del Río, 1988).

La red fluvial está conformada por los ríos Grijalva - Usumacinta, que forman en su desembocadura una llanura deltaica. El río San Pedro - San Pablo, uno de los brazos del Usumacinta, descarga hacia el Banco de Campeche formando una amplia llanura aluvial y la barrera que lleva su nombre. El río Palizada, brazo oriental del Usumacinta, forma a las lagunas de las Cruces y Laguna del Vapor, al este se conecta con la Laguna de Términos por Boca Chica. El río Chumpán se origina en la llanura costera de Tabasco y desemboca en la Laguna de Términos. El río Candelaria desemboca en la Laguna de Panlau, cerca al delta del río Mamantel y el río Champotón, desemboca directamente en el Banco de Campeche (Vera-Herrera *et al.*, 1988).

La Laguna de Términos se localiza al sur del Banco de Campeche, entre las coordenadas geográficas 91°00' y 92°20' longitud O y 18°25' y 19°00' latitud N (Figura 3). Su área es de 70 km por 26 km y con profundidad media de 3.5 m, con excepción de las llanuras de mareas y un canal profundo en la porción oriente de cada boca. Al norte está limitada por la "Isla del Carmen" cuyas dimensiones son de 38 km por 2.5 km. Este sistema lagunar tiene conexión con el ambiente marino del Banco de Campeche a través de dos bocas: a) "Del Carmen" al oeste con 4 km de ancho y b) "Puerto Real" al este con 3.3 km de ancho (Yáñez-Arancibia, 1986; Yáñez Arancibia y Day, 1988). Debido a su gran extensión, la Laguna de Términos es el sistema lagunar más importante en el Banco de Campeche (Álvarez-Guillén *et al.*, 1985), la cual funciona como área de crianza para una gran cantidad de especies de importancia comercial (Day *et al.*, 1982).

El clima en la región es cálido-húmedo (AmW) según la escala de Köppen modificada por García (1973). Con tres épocas climáticas marcadas: a) período de secas de febrero a mayo, b) período de lluvias de junio a octubre y c) período de nortes de octubre a febrero (Yáñez-Arancibia, 1986; Kuc-Castilla *et al.*, 2015). La temperatura ambiental máxima registrada es de 40°C en verano y la mínima es de 17°C en invierno, el promedio anual es de 27°C (Acosta-de la Cruz, 2014). La precipitación varía entre 1 100 mm y 2 000 mm anuales, siendo máxima de junio a noviembre, con tormentas en invierno (Phleger y Ayala-Castañares, 1971; Yáñez-Arancibia, 1986).

La Laguna de Términos presenta comportamiento estuarino. El gradiente de salinidad tiende a ser marina en la boca de "Puerto Real", la cual va disminuyendo hacia el interior de la laguna y salobre en la boca "del Carmen" (Yáñez-Arancibia, 1986; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1991). La salinidad mínima registrada en la laguna se presenta en noviembre (16.9 ups) y la máxima en mayo (33.7 ups) (Acosta-de la Cruz, 2014).

La circulación en la laguna es resultante del forzamiento de marea y del

viento de manera simultánea. A través de las diferentes épocas climáticas se observa un comportamiento diferenciado de las corrientes, cuando entra agua marina a la laguna (flujo) durante el día, y cuando esta sale (reflujo) durante la noche. Debido a los vientos del oeste, existe un flujo neto de circulación del agua de este a oeste, permitiendo que el agua marina penetre por la boca de “Puerto Real y salga por la boca “Del Carmen”, en condiciones meteorológicas extremas (e.g. nortes y huracanes), esta última boca puede presentar tendencia tanto en flujo como reflujo (Gierloff-Emden, 1977; Mancilla y Vargas, 1980; Graham *et al.*, 1981; Yáñez-Arancibia, 1986; Kjerfve *et al.*, 1988; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1991; Espinal-González, 2002; Morán-García, 2005; Kuc-Castilla *et al.*, 2015). La corriente neta se dirige hacia el oeste con un flujo de $1\ 350\ \text{m}^3\text{s}^{-1}$ (Mancilla y Vargas, 1980). El flujo máximo de agua reportado para las bocas es de $6\ 000\ \text{m}^3\text{s}^{-1}$ (Graham *et al.*, 1981).

Las mareas son semidiurnas, con una amplitud de 48 cm a 60 cm y una duración de pleamar de 7 h a 9 h. Se ha determinado que entre 25% y 33% del agua marina que penetra por “Puerto Real” sale durante la marea por “del Carmen” (Yáñez-Arancibia y Day, 1982, 1988; Gómez-Ponce, 2019). La boca de “Puerto Real” se caracteriza por el delta de mareas de flujo que se deposita y propaga hacia el interior de la laguna, creando ambiente sedimentario, que presenta diversos canales de mareas y bajos (Yáñez-Arancibia, 1986; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1991).

Con relación a la velocidad de corriente, en la boca de “Puerto Real” se presentan las mayores magnitudes, llegando incluso a $1.25\ \text{m}^3\text{s}^{-1}$ en los canales de ingreso, las cuales rápidamente disminuyen hasta $0.10\ \text{m}^3\text{s}^{-1}$ y dentro el cuerpo principal de la laguna, es inferior a $0.05\ \text{m}^3\text{s}^{-1}$. Este movimiento también es influenciado por los vientos del sur-este y por la descarga fluvial del río Palizada principalmente, en época de lluvias, dado que los afluentes multiplican su caudal en promedio por cinco (Kuc-Castilla *et al.*, 2015).

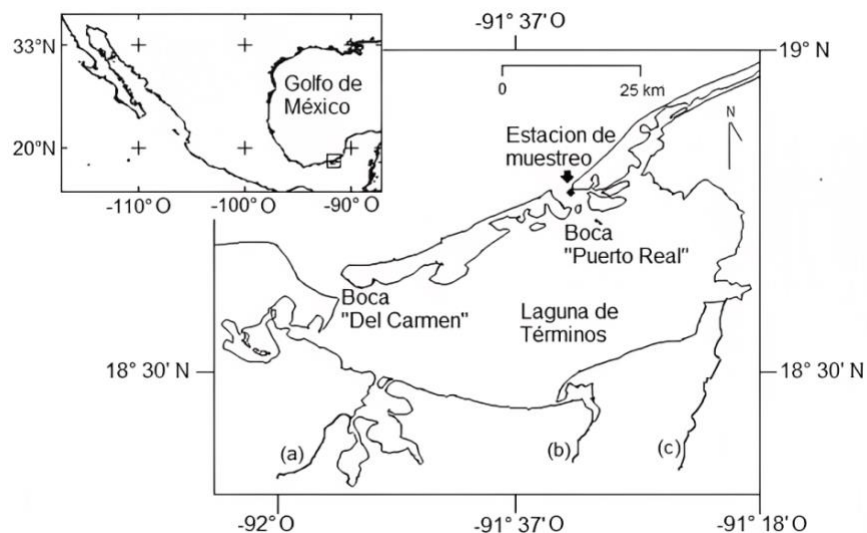


Figura 3. Localización geográfica de la Laguna de Términos en el Banco de Campeche, México. a) Río Palizada; b) Río Chumpan; c) Río Candelaria. Modificado de Puentes-Salazar *et al.* (2020).

7 Materiales y métodos

7.1 Información poblacional e hidrológica

El laboratorio de ecología de postlarvas de camarón de la estación del Carmen de la UNAM, proporcionó las bases de datos que se utilizaron para el desarrollo de este estudio; consistiendo en los registros mensuales de la densidad de postlarvas (*P. setiferus* y *P. duorarum*) que ingresaron por la Boca de “Puerto Real” en la Laguna de Términos de marzo 2010 a noviembre 2012. Además fue proporcionada información hidrológica del 2010 al 2015 (VC, TA y S). La información sobre la Df se obtuvo de la base de datos de CONAGUA del 2010 al 2015. Debido a que el muestreo no fue continuo (Tabla 4), preliminarmente se procedió a la reconstrucción de la información faltante implementando el método de descomposición estacional por series de tiempo CENSUS 1 incluido en el software “STATISTICA® 7.0” (StatSoft Inc., 2004).

Tabla 4. Período de muestreo.

Año	Meses
2010	marzo-noviembre
2011	marzo-diciembre
2012	enero-noviembre

7.1.1 Muestreo biológico

Para la obtención del material biológico, se implementó un muestreo quincenal, en la estación permanente ubicada en la Boca de “Puerto Real” (18°46′46.40″ Latitud N; 91°30′1.55″ Longitud O) (Figura 3). Los días de muestreo fueron seleccionados con base en los períodos de máxima amplitud de marea, de acuerdo al calendario de mareas del Instituto de Geofísica de la UNAM (www.geofisica.unam.mx). Para el traslado del equipo de captura y material biológico se utilizó una lancha de fibra de vidrio modelo W-25 con 7.61 m de eslora, capacidad de carga de 1 200 kg y motor YAMAHA de 60 Hp (14.1 kw).

Se realizó captura múltiple con el sistema de propuesto por Flores-Coto y Zavala-García (1994), que se implementó a tres niveles de profundidad: superficie (1 m), media agua (4 m) y fondo (9 m) (Anexo 1). El sistema de captura consistió en un triplete de redes con polea tipo trapecio de 50 cm de diámetro en la boca, 1.5 m de longitud y 505 μm de abertura de luz de malla, sin bridas al frente, lastre al fondo de 35 kg y cables paralelos, con los que se sujetaron las redes a un cabo del cual mediante una polea se bajaban y recuperaban durante las capturas (Figura 4). La polea se colocó en un canal de desagüe del puente carretero de Puerto Real-Isla Aguada.

Durante los muestreos, la actividad de captura inició cuando el flujo de marea alcanzó una VC de $0.5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, que es cuando las redes presentan una máxima eficiencia de muestreo. En cada muestreo se realizaron 12 lances, para cubrir el período completo de la curva de marea y que el sesgo por velocidad fuera nulo

(Figura 5). Cada lance tuvo una duración de 20 min de forma subsecuente para evitar que se colmaran de las redes. Complementariamente en cada lance se registró la VC y volumen filtrado, utilizando un flujómetro (General Oceanics, modelo 2032), mecánico de alta velocidad, el cual fue colocado al centro de la boca de cada red. Además, se registró *in situ* con un termosalinómetro (YSI 30 multiparametrico), TA (°C) y S (ups). La información de la Df, se estructuró con a la suma total mensual de las descargas de los ríos Palizada, Chumpán y Candelaria (Anexo 1).

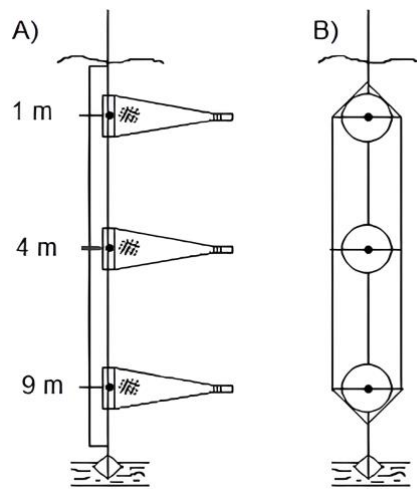


Figura 4. Sistema de captura. A) Vista lateral del triplete de redes; B) Vista frontal. Modificado de Acosta-de la Cruz (2014).

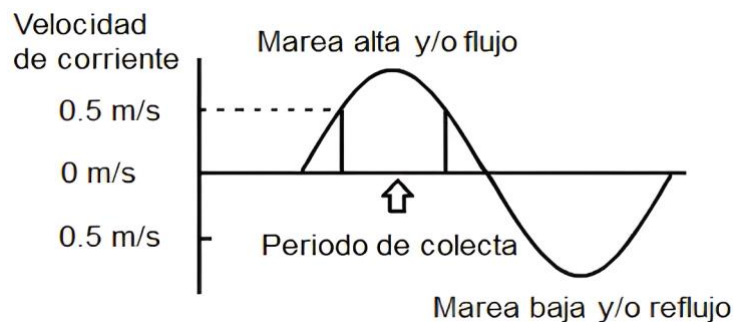


Figura 5. Período del flujo de marea. Modificado de Flores-Coto *et al.* (2010).

Las muestras fueron colocadas en frascos etiquetados (fecha, hora, lance y profundidad), fijadas con formol al 4% y neutralizadas con borato de sodio; luego se cambió a una solución de alcohol al 70%. Finalmente, se identificaron a nivel de especie con las claves taxonómicas de Williams (1965) y Ringo y Zamora (1968).

7.1.2 Profundidad de ingreso de postlarvas

En concordancia con Gómez-Ponce y Gracia (2003), los registros de entrada de las postlarvas de *P. setiferus* y *P. duorarum* fueron transformados a magnitudes de densidad (D_i). Lo anterior consistió en las unidades de postlarvas con relación al volumen de agua filtrada, mediante la Ecuación 1 (Anexo 1):

$$D_i = (C_i/VF) * 100 \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

D_i = Densidad total de postlarvas para la i especie por cada 100 m³.

C_i = Número total de postlarvas para la i especie.

VF = Volumen filtrado expresado en m³.

Con la información D_i se implementaron series de tiempo para preliminarmente evaluar si existe o no una profundidad preferente de ingreso (1 m, 4 m y 9 m) de las postlarvas de camarón a través de la Boca "Puerto Real". Las series de tiempo fueron nombradas para *P. setiferus* (D blanco) y para *P. duorarum* (D rosado). En caso de no poder resolver lo antes mencionado, entonces, se procedió a eliminar el efecto de la variabilidad estacional, y las series de tiempo fueron re-analizadas con un modelo de clasificación neuronal (MCN I) (Haykin, 1999), utilizando el arreglo matricial del Anexo 1. Esto se realizó mediante el software "STATISTICA® 7.0" (StatSoft Inc., 2004).

Con las salidas del MCN I (Figura 6), se se estimaron tendencias de probabilidad para cada profundidad de ingreso, y con distinción entre especies de

camarón. Las tendencias de probabilidad fueron nombradas como superficie P(S), media agua P(M) y fondo P(F). Para realizar la comparación entre las tendencias de probabilidad, éstas se acotaron a un intervalo de variación probabilístico de 0.00 a 1.00. La interpretación del MCN I es:

- Si para alguna profundidad la tendencia de probabilidad es descendiente de 1.00 a 0.00, las postlarvas de D blanco y D rosado no ingresaron predominantemente a esas profundidades por la Boca de “Puerto Real”.

- Si para alguna profundidad la tendencia de probabilidad es ascendiente de 0.00 a 1.00, las postlarvas de D blanco y D rosado ingresaron predominantemente a esas profundidades por la Boca de “Puerto Real”.

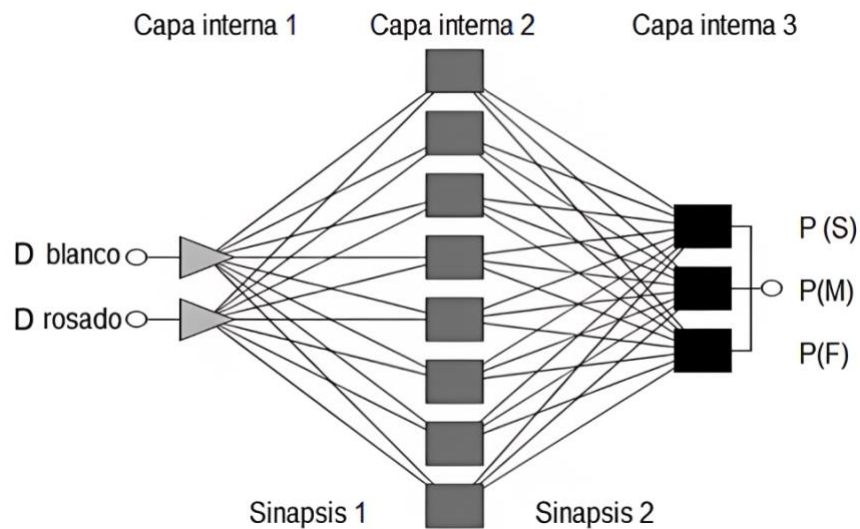


Figura 6. Modelo multicapa de clasificación neuronal I. Densidad de postlarvas de *P. setiferus* (D blanco); densidad de postlarvas de *P. duorarum* (D rosado); neuronas (triángulo gris; cuadrados, grises y negros); estimador probabilístico de: superficie (P(S)); media agua (P(M)); fondo (P(F)).

MCN I se estructuró con tres capas de aprendizaje (o capas internas). La primera capa interna tiene dos neuronas, la segunda está compuesta por ocho

neuronas y la tercera tiene tres neuronas. El espacio entre cada capa, o bien, la interacción entre neuronas se llama sinapsis (Figura 6). Para activar la primera capa interna se utilizó un modelo lineal. Entre esta y la segunda capa interna se usó un modelo lineal para activar la sinapsis 1. Luego se manejó un modelo hiperbólico para activar la segunda capa interna. Entre la segunda y tercera capa interna, se implementó un modelo lineal para activar la sinapsis 2. Después, para activar la tercera capa interna, se manejó un modelo softmax (Figura 6; Anexos 2 y 3). Durante la implementación del MCN I, la estimación de los parámetros en los modelos lineales y no lineales se optimizó con el método de mínimos cuadrados.

7.1.3 Hidrología de la profundidad dominante de ingreso de postlarvas

Para conocer el comportamiento de la masa de agua entrante en la laguna, se calculó la densidad de esta misma con base en los registros de TA y S, para ello se utilizó el programa computacional “MATLAB® 9.3” (MathWorks Inc., 2017).

Por otra parte, para establecer las condiciones óptimas, en las que se incrementa la densidad de postlarvas de cada especie, se estructuró un modelo de regresión neuronal (MRN) (Haykin, 1999) mediante el arreglo matricial mostrado en el Anexo 1, esto se realizó con el programa computacional “STATISTICA® 7.0” (StatSoft Inc., 2004).

El MRN se estructuró con tres capas de aprendizaje (o capas internas). La primera capa interna tiene cuatro neuronas, la segunda está compuesta por seis neuronas y la tercera posee dos neuronas. Para activar la primera capa interna se utilizó un modelo lineal. Entre esta y la segunda capa interna se usó un modelo radial para activar la sinapsis 1. Luego se manejó un modelo exponencial para activar las seis neuronas de la segunda capa interna. Entre la segunda y la tercera capa interna, se implementó un modelo lineal múltiple para activar la sinapsis 2. Después, para activar la tercera capa interna, se manejó un modelo lineal. Con este último, fueron simuladas las tendencias de cada variable hidrológica en

relación con la densidad de las postlarvas de cada especie (Figura 7; Anexos 4 y 5). Finalmente, mediante la comparación de estos valores, se interpretó cuando se alcanzó la asíntota de la curva de D_i y se estableció como condición óptima de ingreso. Durante la implementación del MRN, la estimación de los parámetros en los modelos lineales y no lineales se optimizó con el método de mínimos cuadrados.

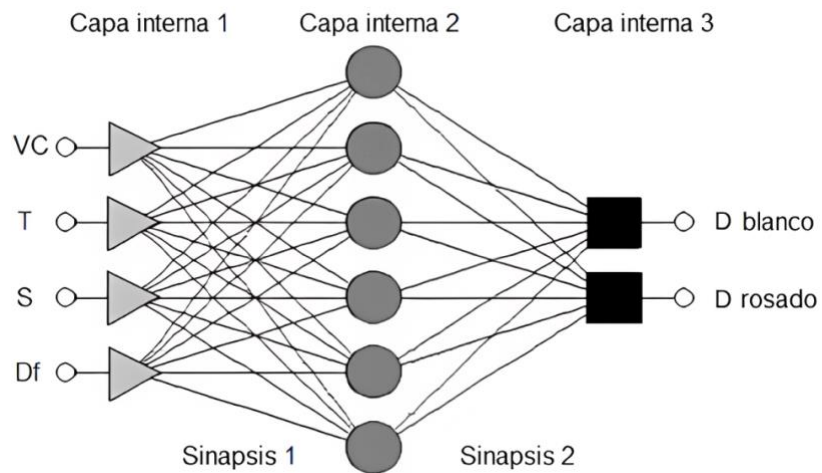


Figura 7. Modelo de función básica radial de regresión neuronal. Velocidad de corriente (VC); temperatura del agua (TA); salinidad (S); descarga fluvial (Df); densidad de postlarvas de *P. setiferus* (D blanco); densidad de postlarvas de *P. duorarum* (D rosado).

7.2 Temporadas de reclutamiento lagunar y estacionalidad hidrológica (análisis retrospectivo)

Con los registros de D blanco y D rosado en los tres niveles de profundidad, se integraron por especie en series de tiempo mensuales totales (nombradas de la misma manera) (Anexo 6). Así mismo, se realizó para las variables hidrológicas VC, TA, S y Df (Anexo 6). Las primeras series de tiempo fueron descritas preliminarmente, y en el caso de no poder delimitar confiablemente las temporadas de RL, se procedió como se indica a continuación:

Las series de tiempo mensuales del Anexo 6, se analizaron con el método CENSUS 1 incluido en el software “STATISTICA® 7.0” (StatSoft Inc., 2004). Con este análisis, las series de tiempo fueron transformadas en Patrones Armónicos de Variación (PAV) (Makridakis *et al.*, 1983; Cervantes-Hernández, 2015). Con esta transformación, se generaron anomalías cíclicas mensuales para cada caso. Estas anomalías son positivas o negativas, con el valor de cero como el punto medio de cambio. Las anomalías positivas, representan incrementos, mientras que las anomalías negativas representan a los decrementos. Mediante la inspección visual de estas anomalías a lo largo del tiempo, se pudo establecer con mayor precisión, cuándo la temporada del RL inició, llegó al máximo y finalizó, y como este comportamiento se repite estacionalmente en los años 2010 - 2012. Además, se determinó con mayor precisión, los desfases temporales entre ambas temporadas de RL.

Para describir las condiciones hidrológicas predominantes durante el aumento y decremento del reclutamiento lagunar en ambas especies de camarón, se realizó un análisis de correlación múltiple entre los PAV de D blanco, D rosado, VC, TA, S y Df. Para ello se utilizó el programa computacional “STATISTICA® 7.0” (StatSoft Inc., 2004). Para complementar este análisis, se integró el resultado obtenido sobre la profundidad dominante de ingreso de postlarvas a la Laguna de Términos.

El método CENSUS 1 (PAV) no es la única alternativa para delimitar confiablemente las temporadas de reclutamiento lagunar. Una aproximación similar se puede generar con la predicción canónica (Cervantes-Hernández, 2007). Sin embargo, con la predicción canónica no es posible cuantificar los desfases que ocurren entre las variables hidrológicas cuando RL está ocurriendo. Por esta razón, se decidió usar el método CENSUS 1 para convertir a las variables poblacionales (D blanco y D rosado) e hidrológicas (VC, TA, S y Df) en anomalías PAV, facilitando con ello el análisis de los desfases y mejorando el análisis de correlación múltiple.

Por otra parte, los resultados del método CENSUS 1 (PAV) no pueden ser prospectados a futuro; porque, al ser anomalías estacionales armónicas, los PAV generan el mismo patrón estacional; esto es, la delimitación de las temporadas de RL será la misma respecto al inicio, máximo y final. Es por esta razón, que la predicción canónica resulta útil para corroborar los resultados del método CENSUS 1.

7.3 Simulación de la densidad de postlarvas

Los modelos de predicción son sensibles al peso de sus variables, por ende, para efectos de simulación y prospección, las series de tiempo total mensual (considerando los tres niveles de profundidad) biológico e hidrológico (Anexo 6) fueron estandarizadas, debido a diferencias de magnitud, siendo valores de miles (D blanco y D rosado), centenas (Df), decenas (TA y S), y decimales (VC). La estandarización de las series de tiempo consistió en la unificación de sus magnitudes en un rango de probabilidad entre 0 - 1 sin perder el efecto entre estas. Esto se realizó mediante el software "STATISTICA® 7.0" (StatSoft Inc., 2004).

Para realizar la conversión probabilística, se implementó un modelo de clasificación neuronal (MCN II), teniendo como información de entrada las series de tiempo mensuales de D blanco, D rosado, VC, TA, S y Df. La información fue procesada mediante la implementación de tres capas internas. La primera capa interna tiene una neurona, la segunda está compuesta por cinco neuronas, y la tercera tiene seis neuronas (Figura 8).

Para activar la primera capa interna se utilizó un modelo lineal. Entre esta y la segunda capa interna se usó un modelo lineal para activar la sinapsis 1. Luego, para activar la segunda capa interna se manejó un modelo hiperbólico. Entre la segunda y tercera capa interna, se implementó un modelo lineal múltiple para activar la sinapsis 2. Después, para activar la tercera capa interna, se manejó un

modelo softmax (Figura 8; Anexos 7 y 8). Con este último, se generaron registros de probabilidad de cada variable (Anexo 11), los cuales sustituyeron a los correspondientes registros mensuales originales, tanto poblacionales como hidrológicas en el modelo de correlación canónica (MCC).

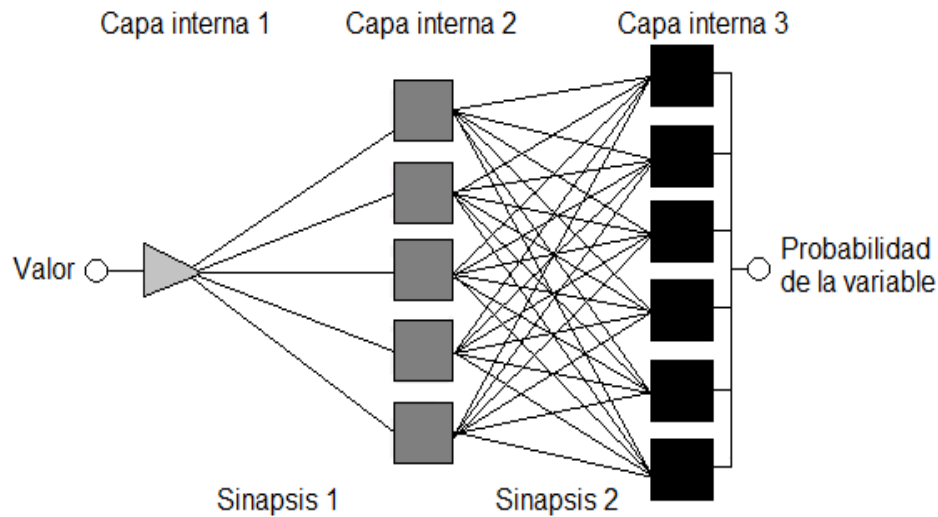


Figura 8. Estructura del modelo multicapa de clasificación neuronal II.

Específicamente, el MCC predice simultáneamente dos o más variables dependientes métricas, analizando el efecto que tienen sobre de éstas dos o más variables independientes métricas (Morrison, 1967). El modelo teórico se expresa en la Ecuación 2:

$$Y_1 + \dots + Y_n = X_1 + X_2 + \dots + X_n \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

Y_n = son el grupo de las variables dependientes.

X_n = son el grupo de las variables independientes.

El MCC (Ecuación 2) está estructurado por un sistema de ecuaciones lineales independientes (raíces, en este caso son dos, una por especie) (Calvo-

Gómez, 1993; Hair *et al.*, 1999; Sharon, 1999; Dallas, 2002); en donde cada ecuación lineal, predice por separado a una única variable dependiente (Y_n).

Tabla 5. Matriz de cargas canónicas del Modelo de Correlación Canónica. Variable dependiente (Y_i); variable independiente (X_j); cargas canónicas (C_{ij}).

Variable	Y_1	Y_2	X_1	X_2	X_3	X_4
Raíz 1	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{13}	C_{14}
Raíz 2	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{23}	C_{24}

Las raíces 1 y 2, incluyen como coeficientes de regresión múltiple para cada variable (Y_i , X_j), cargas canónicas (C_{ij}) (Tabla 5). La Tabla 5, tiene una estructura matricial que de manera horizontal esta seccionada en dos partes. La primera delimita al grupo de las variables dependiente a predecir (Y_i), y la segunda delimita al grupo de las variables independientes utilizadas para generar las predicciones (X_j). Verticalmente, delimita a las ecuaciones canónicas (raíz 1 y 2). Las cargas de las variables dependientes son utilizadas para identificar la raíz que se utilizará para predecirla.

Tabla 6. Matriz de cargas canónicas (factoriales) utilizadas en la predicción de la densidad de postlarvas en la Laguna de Términos. Densidad de postlarvas de *P. setiferus* (D blanco), y *P. duorarum* (D rosado); velocidad de corriente (VC); temperatura del agua (TA); salinidad (S); descarga fluvial (Df).

Variable	D blanco	D rosado	VC	TA	S	Df
Raíz 1	-0.89	-0.97	0.85	0.93	0.86	0.86
Raíz 2	-0.46	0.26	0.36	-0.2	-0.39	0.36

El MCC generó un sistema de ecuaciones lineales (Raíz 1: D blanco y Raíz 2: D rosado), las cuales predijeron por separado la variación interanual para cada grupo dependiente (Tabla 6). Los efectos de correlación canónicos fueron directos entre la variación interanual de la D blanco y las variables hidrológicas; mientras

que, para la D rosado, los efectos fueron directos con VC y Df, e inversos con respecto a TA y S (Tabla 6).

Los estadísticos utilizados en el MCC son: La correlación canónica (R_{cc}), la cual mide la magnitud de asociación lineal canónica entre los grupos de variables Y_n y X_n , siendo cero, la mínima asociación y uno la máxima; la determinación canónica (R_{cc}^2), que es el porcentaje de varianza total explicada por el MCC, siendo el cero, la mínima capacidad predictiva, y uno, la máxima capacidad; y para el grupo de variables dependientes (Y_n), se estima el índice de redundancia (lr), el cual cuantifica la asociación lineal canónica entre las variables dependientes, siendo cero, la mínima asociación y uno, la máxima.

Los estadísticos de validación para el modelo canónico de predicción son:

- $R_{cc} = 0.99$ (99% de asociación canónica lineal entre el grupo de la densidad de postlarvas con el grupo de la hidrología).
- $R_{cc}^2 = 0.98$ ($p < 0.05$) (98% de capacidad predictiva del modelo canónico para predecir a las series de tiempo D blanco y D rosado).
- $lr = 0.99$ (99% de asociación canónica lineal entre D blanco y D rosado).

Cervantes-Hernández (2007) detectó que cuanto mayor es el lr entre el grupo Y_n (e.g., $lr > 0.70$), el sistema de ecuaciones lineales (Ecuación 2) se torna dependiente; de manera que, para predecir a Y_1 se requiere del efecto de Y_2 y viceversa. Por lo tanto, propone una corrección matemática, para cambiar el sistema de ecuaciones lineales de la Ecuación 2 al sistema de Ecuaciones 3.

$$\begin{aligned} \text{Raíz 1} &= Y_1 = X_1 + X_2 + \dots + X_n + Y_2 \\ \text{Raíz 2} &= Y_2 = X_1 + X_2 + \dots + X_n + Y_1 \end{aligned} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Todo lo anterior inicia con la elección de una variable X_n , que se distingue del resto (f_i), porque la correlación de ésta con respecto al grupo de las variables

independientes es baja y su variabilidad anual está condicionada únicamente por el efecto del grupo Y_n .

En el sistema de Ecuaciones 4, Y_1 y Y_2 representan las densidades de las postlarvas de *P. setiferus* y *P. duorarum* (grupo dependiente D_i); X_n son las variables hidrológicas (grupo independiente); y de entre X_n , f_i tiene las características antes explícitas, entonces:

$$\begin{aligned} Y_1 &= c_{11}f_i + c_{12}X_{12} + c_{13}X_{13} \\ Y_2 &= c_{21}f_i + c_{22}X_{22} + c_{23}X_{23} \end{aligned} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

c_{ij} = son los valores de carga canónica para cada X_{ij} .

f_i = es la variable independiente seleccionada para realizar la corrección matemática.

Se estructuró el modelo canónico de predicción sustituyendo las cargas factoriales (Tabla 6), en el sistema de ecuaciones lineales de la Ecuación 4:

$$\begin{aligned} D_{\text{blanco}_{\text{esp}}} &= 0.85 * VC + 0.93 * TA + 0.86 * S + 0.86 * Df \\ D_{\text{rosado}_{\text{esp}}} &= 0.36 * VC - 0.20 * TA - 0.39 * S + 0.36 * Df \end{aligned} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

$D_{\text{blanco}_{\text{esp}}}$ = Densidad de postlarvas esperados de *P. setiferus*.

$D_{\text{rosado}_{\text{esp}}}$ = Densidad de postlarvas esperados de *P. duorarum*.

VC = Registros observados de la velocidad de corriente.

TA = Registros observados de la temperatura del agua.

S = Registros observados de la salinidad.

Df = Registros observados de la descarga fluvial.

La corrección matemática da comienzo al despejar f_i en la Ecuación 5:

$$f_i = \frac{Y_1 - c_{12}X_{12} - c_{13}X_{13}}{c_{11}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$f_i = \frac{Y_2 - c_{22}X_{22} - c_{23}X_{23}}{c_{21}}$$

Ambos despejes se igualan y se realiza la correspondiente simplificación algebraica, Ecuación 6:

$$c_{21}(Y_1 - c_{12}X_{12} - c_{13}X_{13}) = c_{11}(Y_2 - c_{22}X_{22} - c_{23}X_{23}) \quad (\text{Ecuación 6})$$

El proceso continúa despejando nuevamente las variables Y_1 y Y_2 en la Ecuación 6, identificadas en la Ecuación 7, como Y'_1 y Y'_2 :

$$Y'_1 = \frac{(c_{11}Y_1) - (c_{11}c_{22}X_{22}) - (c_{11}c_{23}X_{23}) + (c_{21}c_{12}X_{12}) + (c_{21}c_{13}X_{13})}{c_{21}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$Y'_2 = \frac{(c_{21}Y_1) - (c_{21}c_{12}X_{12}) - (c_{21}c_{13}X_{13}) + (c_{11}c_{22}X_{22}) + (c_{11}c_{23}X_{23})}{c_{11}}$$

Donde Y'_1 y Y'_2 , se sustituyen en la Ecuación 5 para generar dos nuevas variables de corrección canónica, identificadas en la Ecuación 8, como $(f_i: Y_1)$ y $(f_i: Y_2)$, respectivamente.

Éstas últimas se sustituyen por f_i en la Ecuación 4, para finalmente estructurar un MCC corregido, Ecuación 9.

$$(f_i: Y_1) = \frac{Y'_1 - c_{12}X_{12} - c_{13}X_{13}}{c_{11}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$(f_i: Y_2) = \frac{Y'_2 - c_{22}X_{22} - c_{23}X_{23}}{c_{21}}$$

Donde:

$(f_i: Y_1)$ = es la variable que integra el efecto de Y_2 en Y_1 en términos de f_i .

$(f_i: Y_2)$ = es la variable que integra el efecto de Y_1 en Y_2 en términos de f_i .

$$\begin{aligned}\hat{Y}_1 &= c_{11}(f_i: Y_2) + c_{12}X_{12} + c_{13}X_{13} \\ \hat{Y}_2 &= c_{21}(f_i: Y_1) + c_{22}X_{22} + c_{23}X_{23}\end{aligned}\quad \text{(Ecuación 9)}$$

Donde:

\hat{Y}_1 y \hat{Y}_2 = son el grupo esperado de variables dependientes (índices de densidad).

X_{ij} = es la j-enésima variable independiente contenida en la función canónica i.

c_{ij} = es la j-enésima carga canónica para cada X_{ij} .

Se utilizó VC para ser f_i en la corrección matemática del MCC debido a que presentó un intervalo de variación mínimo (Anexo 6).

Así, el modelo canónico de predicción corregido sustituyendo las cargas factoriales (Tabla 6) es (Ecuación 9):

$$\begin{aligned}D_{\text{blanco}}_{\text{esp}} &= 0.85 * (\text{VC: D rosado}) + 0.93 * \text{TA} + 0.86 * \text{S} + 0.86 * \text{Df} \\ D_{\text{rosado}}_{\text{esp}} &= 0.36 * (\text{VC: D blanco}) - 0.20 * \text{TA} - 0.39 * \text{S} + 0.36 * \text{Df}\end{aligned}\quad \text{(Ecuación 9)}$$

Donde:

$D_{\text{blanco}}_{\text{esp}}$ = Densidad de postlarvas esperadas de *P. setiferus*.

$D_{\text{rosado}}_{\text{esp}}$ = Densidad de postlarvas esperadas de *P. duorarum*.

VC: $\text{blanco}_{\text{esp}}$ = Variable que integra el efecto de la D blanco en la D rosado en términos de VC.

VC: $\text{rosado}_{\text{esp}}$ = Variable que integra el efecto de la D rosado en la D blanco en términos de VC.

TA = Registros observados de la temperatura del agua.

S = Registros observados de la salinidad.

Df = Registros observados de la descarga fluvial.

El MCC corregido (Ecuación 9) se utilizó para realizar simulaciones retrospectivas (2010 - 2012) (primer período) y prospectivas (2013 - 2015) (segundo período) de las D_i . Para el primer período, el MCC corregido se validó con la distribución de Chi^2 (Zar, 1999), confrontando los registros observados y esperados de las D_i , con el siguiente juego de hipótesis:

$$H_0: Y_i = \hat{Y}_i \quad H_a: Y_i \neq \hat{Y}_i$$

Donde:

H_0 = Hipótesis nula.

H_a = Hipótesis alterna.

Y_i = Registro observado de D_i .

\hat{Y}_i = Registro esperado de D_i .

La confrontación estadística es:

Se acepta H_0 , si $\text{Chi}_{\text{cal}}^2 < \text{Chi}_{0.05}^2$ ($p > 0.05$).

Se acepta H_a , si $\text{Chi}_{\text{cal}}^2 > \text{Chi}_{0.05}^2$ ($p < 0.05$).

Donde:

$\text{Chi}_{\text{cal}}^2 = \sum \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\hat{Y}_i}$ es el estimador calculado.

$\text{Chi}_{0.05}^2$ = es el estimador esperado con $\alpha = 0.05$ y grados de libertad (gl) = $n - 4$.

n = es el número total de i renglones de la matriz por analizar.

Para el segundo período, al no contar con los registros para D blanco y D rosado entre 2013 y 2015, la validación por Chi^2 no pudo implementarse a la predicción prospectiva. Entonces, para implementar la validación, se consideró lo siguiente:

Cuando se implemente la predicción canónica del reclutamiento lagunar a tres años posteriores al último muestreo (2012), los resultados deben coincidir o

ser similares a los generados retrospectivamente con los PAV de D blanco y D rosado. En el caso de que esto ocurra, la estabilidad estacional en la delimitación de las temporadas de reclutamiento lagunar será válida.

Es claro que el método CENSUS 1 no es la única alternativa para delimitar confiablemente las temporadas de reclutamiento lagunar. Al respecto, Cervantes-Hernández (2007) recomendó el uso de la predicción canónica; sin embargo, en el presente trabajo, lo anterior no se implementó para repetir la delimitación reclutamiento lagunar, sino para someter a validación las predicciones retrospectivas PAV con respecto a las prospectivas canónicas realizadas usando las observaciones reales.

Para desarrollar el modelo MCC y la confrontación de χ^2 se utilizó el programa computacional "STATISTICA® 7.0" (StatSoft Inc., 2004).

7.4 Temporada de reproducción

Este apartado fue incluido y se desarrolló como un complemento a los resultados del reclutamiento lagunar y está enfocado a explicar por qué otras temporadas de reproducción, diferentes a las delimitadas con el reclutamiento lagunar, están documentadas para las poblaciones de camarón del golfo de México. La captura comercial de camarón clasificada por categorías de tamaño, temporadas de reproducción fueron documentadas en el ambiente marino principalmente durante el invierno (con el sistema de vedas cerrado), cuando las condiciones oceanográficas son predominantemente de alta concentración de clorofila *a* (Cl-*a*) y fría temperatura superficial del mar (TSM) (Cervantes-Hernández, 2015).

El reclutamiento lagunar ocurre cuando los adultos de camarón se reproducen en el ambiente marino, pero en el presente trabajo, ejemplares adultos no fueron capturados. Así, para delimitar indirectamente a la temporada de

reproducción marina, se utilizó al reclutamiento lagunar como una señal asociada a la reproducción que ocurre en mar abierto. Debido a que la captura comercial de camarón clasificada por categorías de tamaño ya no es disponible, en la actualidad, es imposible delimitar otras temporadas de reproducción marinas. Pero, están bien documentadas las condiciones oceanográficas en la que persistentemente ocurren las temporadas de reproducción marinas. Por esta razón, la variación oceanográfica fue de utilidad para delimitar a las temporadas de reproducción marinas. Con base en lo anterior, se sometió a evaluación lo siguiente:

- Si al interior de la Laguna de Términos, el reclutamiento lagunar coincide cuando en el ambiente marino (Figura 9, zona marina M1), las condiciones oceanográficas son con alta Cl-a y fría TSM. Entonces, el reclutamiento lagunar detectado aquí es parte de la señal de reproducción marina invernal. Si esto se corrobora, se concluye que las poblaciones de camarón en el golfo de México tienen un único evento reproductivo al año.

- Si al interior de la Laguna de Términos, el reclutamiento lagunar no coincide cuando en el ambiente marino (Figura 9, zona marina M1), las condiciones oceanográficas son con alta Cl-a y fría TSM. Entonces, el reclutamiento lagunar detectado aquí no es parte de la señal de reproducción marina invernal. Si esto se corrobora, se concluye que las poblaciones de camarón en el golfo de México tienen más de un evento reproductivo al año.

Para someter a evaluación lo anterior y conservar la simultaneidad de tiempo (muestreo), se utilizaron imágenes de satélite. La información oceanográfica satelital estuvo integrada por compuestos mensuales de TSM y de la concentración de Cl-a que corresponden al período de enero del 2010 a diciembre del 2012, obtenida del portal *Ocean Color Web* (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>) a una resolución de 4 km² por pixel, en el formato *Hierarchical Data Format* (HDF) y con un nivel de procesamiento L₃ (en grados decimales Long-Lat). Ambos tipos

de registros provienen del sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Aqua* (Aqua MODIS).

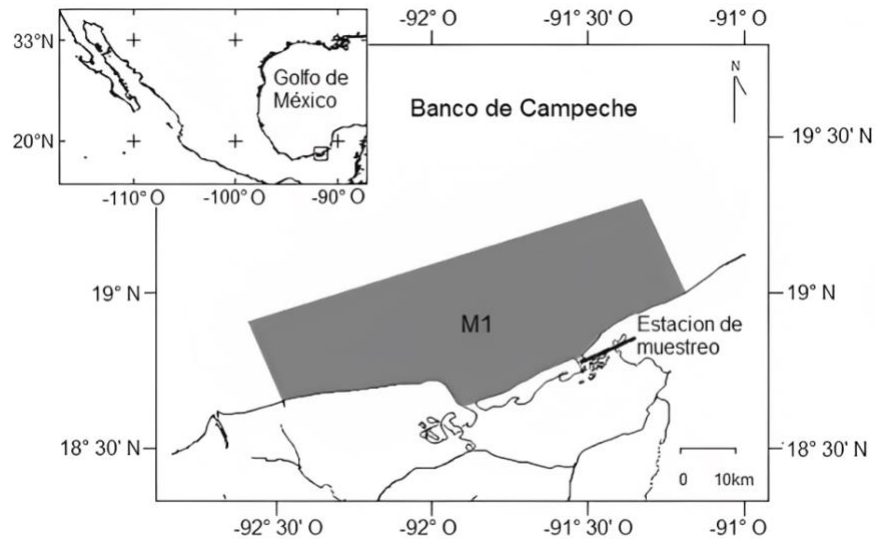


Figura 9. Localización geográfica de la estación permanente de muestreo en la Laguna de Términos (Boca de “Puerto Real”). Zona gris (M1): Área marina donde se extrajeron las variables oceanográficas.

Se estructuró una imagen de “máscara” para delimitar la región marina próxima a la Boca de “Puerto Real” en la Laguna de Términos (Figura 9, M1); de la que se extrajo de cada imagen, el valor promedio mensual de TSM y la concentración de Cl-a, para construir las correspondientes series de tiempo.

La información satelital, se procesó con el software Windows Image Manager® (WIM/WAM). Para fines comparativos bibliográficos se estandarizó la TSM y la concentración de Cl-a. La TSM se estandarizó al algoritmo de escala AVHRR “Pathfinder”, este se encuentra en el intervalo válido operativo de 0 a 35.25°C. Dicha estandarización se calculó mediante la Ecuación 10 (Cervantes-Hernández y Manzano-Sarabia, 2015):

$$T\text{ }^{\circ}\text{C} = (\text{VD} - 3.0) * 0.15 \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

VD = es el valor digital del pixel que constituyen a una imagen AVHRR.

Mientras que, la concentración de la Cl-a se estandarizó al algoritmo de escala estándar SeaWiFS, con un intervalo válido operativo de 0.01 a 64.0 mg*m⁻³ de agua marina, mediante la siguiente Ecuación 11 (Cervantes-Hernández y Manzano-Sarabia, 2015):

$$Cl - a \text{ mg} * \text{m}^{-3} = (10^{0.15*VD}) - 2.0 \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

VD = es el valor digital del pixel que constituyen a una imagen CZCS.

Las series de tiempo mensuales de la TSM y la concentración de Cl-a estandarizadas (Anexo 9), se analizaron con el método CENSUS 1, para transformarlos en sus correspondientes PAV (Makridakis *et al.*, 1983; Cervantes-Hernández, 2015). Para ello se utilizó el programa computacional "STATISTICA® 7.0" (StatSoft Inc., 2004). Con esta transformación, se generaron anomalías cíclicas mensuales para cada serie de tiempo. En este caso, las anomalías positivas, representan incrementos en la TSM y la Cl-a. Las anomalías negativas, representan los respectivos decrementos, con el valor de cero como el punto de referencia de cambio. Mediante la inspección visual de las anomalías se examinó el período donde disminuye la TSM e incrementa la Cl-a, para establecer indirectamente la temporada de reproducción de los camarones.

7.5 Temporada de veda

La temporada de veda afecta directamente la presencia de las postlarvas dado que, en este período al estar restringida la pesca de los camarones adultos, estos llegan a reproducirse y, por ende, generar postlarvas. Debido a lo anterior, se tomó en cuenta al describir RL y la temporada de reproducción. Como análisis

complementario a este trabajo, se evaluó por primera vez el establecimiento de la temporada de veda del camarón en el Banco de Campeche. Para ello, a los gráficos del RL (PAV de D blanco y D rosado) y la temporada reproductiva (PAV de TSM y CI-a), se les sobrepusieron los intervalos de veda y pesca que actualmente están implantadas, esto permitió verificar la pertinencia sobre la protección de los estadios larvarios de camarón producto del desove.

8 Resultados

8.1 Profundidad preferente de ingreso de postlarvas

Las series de tiempo originales de las densidades de postlarvas de camarón blanco y rosado, muestran la variación del 2010 al 2012, a tres niveles de profundidad (Figuras 10 y 11). En ambas imágenes se observa que a través del tiempo ocurrieron diferentes patrones de ingreso lagunar.

En el caso de las postlarvas de camarón blanco, el 2010 y 2012 presentaron mayores densidades transitando por superficie y media agua, en 2011 destacó la mayor densidad de postlarvas a media agua, seguida del estrato superficial (Figura 10).

Para las postlarvas de camarón rosado, el 2010 y 2012 presentó mayores densidades en fondo y superficie; en 2011 transitó la mayor densidad de postlarvas por media agua, seguida de la profundidad de fondo (Figura 11).

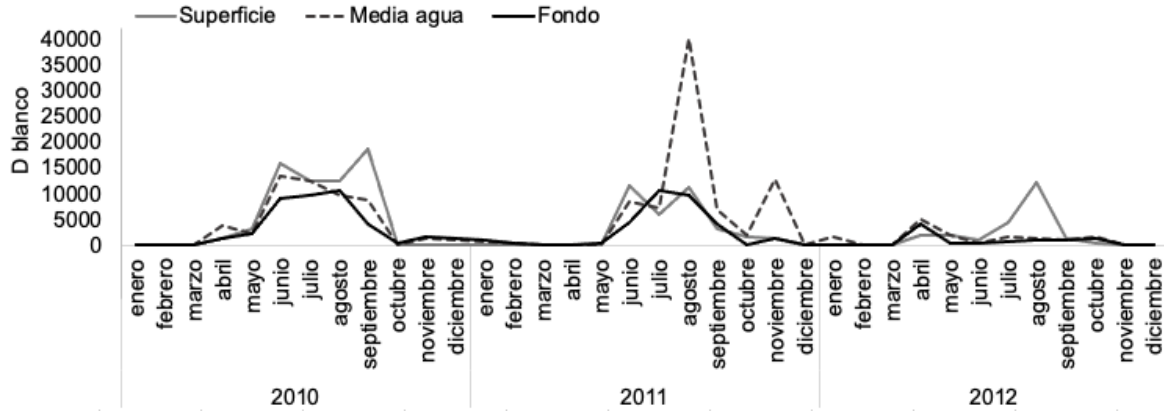


Figura 10. Comportamiento mensual de ingreso de postlarvas de *P. setiferus* (D blanco) en la Laguna de Términos. Las profundidades son: superficie (1 m), media agua (4 m) y fondo (9 m).

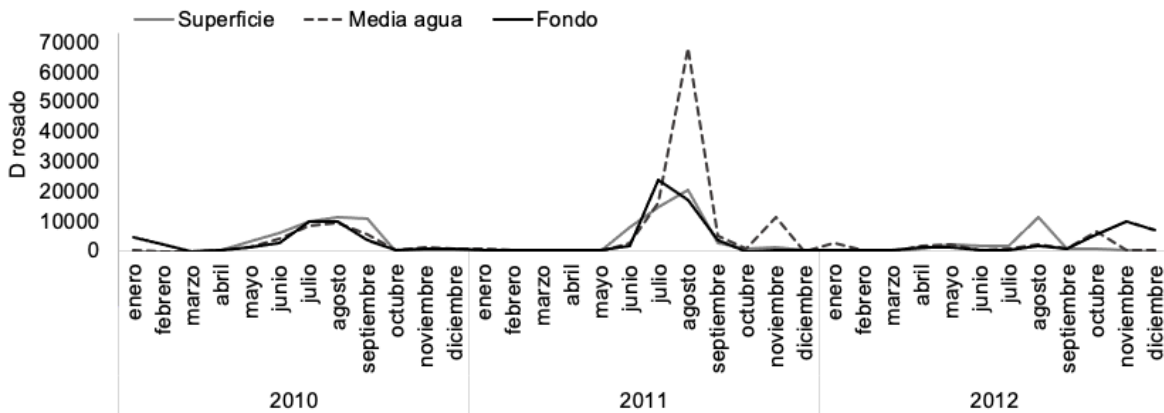


Figura 11. Comportamiento mensual de ingreso de postlarvas de *P. duorarum* (D rosado) en la Laguna de Términos. Las profundidades son: superficie (1 m), media agua (4 m) y fondo (9 m).

Por lo tanto, no fue posible detectar una profundidad dominante de ingreso de postlarvas, porque entre los años 2010 y 2011 se registró alta variabilidad estacional en la entrada de postlarvas en comparación con el año 2012. En apego a los resultados obtenidos con las Figuras 10 y 11, fue necesario implementar el MCN I para eliminar la variabilidad estacional en las series de tiempo D blanco y D rosado.

Probabilísticamente se encontró que las postlarvas de *P. setiferus* (Figura 12) y *P. duorarum* (Figura 13) ingresaron por la boca de “Puerto Real” a una profundidad dominante de 4 m. Por otra parte, el ingreso de postlarvas de camarón ocurrió con menor probabilidad a las profundidades de 1 m y 9 m.

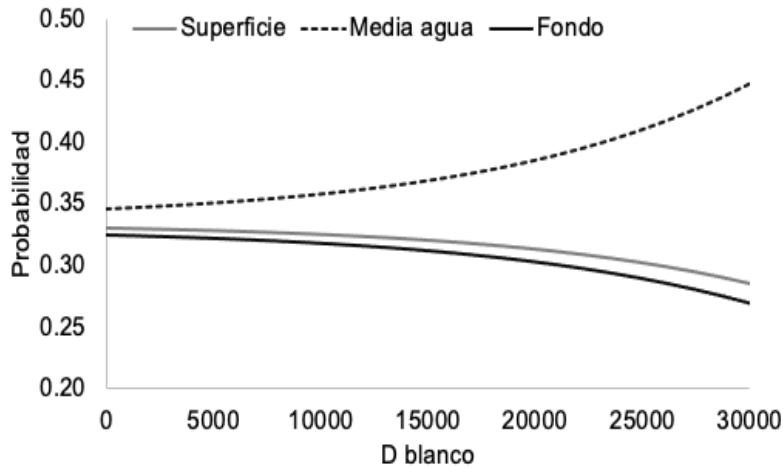


Figura 12. Tendencias de probabilidad para el ingreso de postlarvas de *P. setiferus* (D blanco) en la Laguna de Términos. Las profundidades son: superficie (1 m), media agua (4 m) y fondo (9 m).

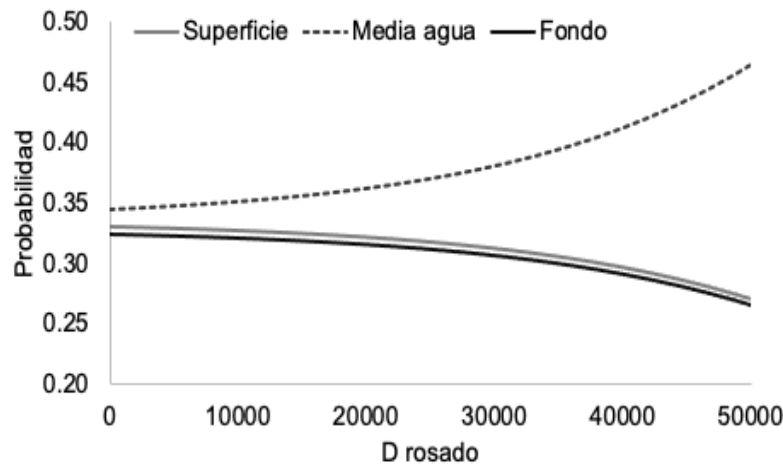


Figura 13. Tendencias de probabilidad para el ingreso de postlarvas de *P. duorarum* (D rosado) en la Laguna de Términos. Las profundidades son: superficie (1 m), media agua (4 m) y fondo (9 m).

Para las series de tiempo D blanco y D rosado, la P(M) se registró ascendente en el intervalo de 0.35 a 0.45 y 0.35 a 0.48, respectivamente, mientras que la P(S) y P(F) se registró descendente en el intervalo de 0.32 a 0.27 y 0.32 a 0.25, respectivamente (Figuras 12 y 13). Así, para ambas series de tiempo se concluyó que con un ~ 50% de confiabilidad, que la profundidad dominante de ingreso es a los 4 m.

Al comparar los intervalos para la variación hidrológica observada a los tres niveles de profundidad (Tabla 7; Anexo 1) se distinguió que estos fueron muy similares en cada profundidad, por lo que existe poca variación entre las profundidades. Sin embargo, la variación de las variables hidrológicas fueron más estrechas a media agua (4 m).

Tabla 7. Comparación de los registros interanuales de las variables hidrológicas por profundidad.

Profundidad/variable	Velocidad de corriente (m ³ s ⁻¹)	Temperatura del agua (°C)	Salinidad (ups)
Superficie	0.17 - 1.12	23.23 - 31.97	21.09 - 37.85
Media agua	0.36 - 1.07	23.23 - 31.91	22.62 - 37.85
Fondo	0.64 - 1.42	23.23 - 31.92	24.67 - 37.85

Al calcular la densidad de la masa de agua entrante para este período de estudio (Figura 14) se observó que, al aumentar la profundidad, la variación de la densidad de la masa de agua es mínima, lo que se consideró como evidencia de que corresponde a la misma masa de agua entrante. Esto indicó que, las postlarvas para su ingreso a la Laguna de Términos se desplazan dentro de la masa de agua en busca de las condiciones óptimas de las variables hidrológicas.

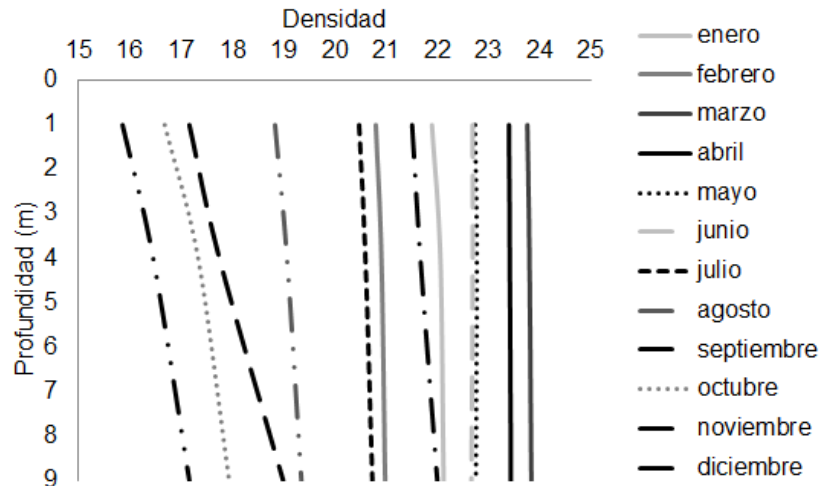


Figura 14. Perfil batimétrico de la densidad de la masa de agua entrante en la Boca de “Puerto Real” de 2010 a 2012.

Con el MRN, se generó una tendencia radial de tipo gaussiano entre las variables hidrológicas (VC, TA, S y Df) y los cambios de densidad de las postlarvas de camarón blanco y rosado (D blanco y D rosado) (Figuras 15, 16, 17 y 18). Las condiciones hidrológicas óptimas de ingreso a la laguna para cada especie de camarón son:

- Para las postlarvas de *P. setiferus* son: VC = 0.76 m³s⁻¹, TA = 30.2°C, S = 31.5 ups y Df = 337 m³s⁻¹.
- Para las postlarvas de *P. duorarum* son: VC = 0.72 m³s⁻¹, TA = 30.5°C, S = 32.7 ups y Df = 328 m³s⁻¹.

Por lo cual ambas especies presentan valores cercanos en sus preferencias hidrológicas. Estas condiciones se encuentran predominantemente a la profundidad de media agua (Anexo 1).

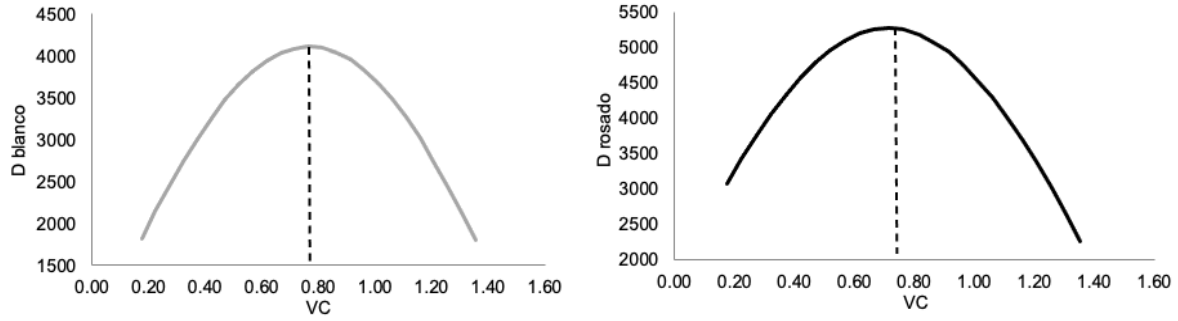


Figura 15. Velocidad de corriente (VC) durante el ingreso de las postlarvas de *P. setiferus* (D blanco) y *P. duorarum* (D rosado). Condición óptima (línea punteada).

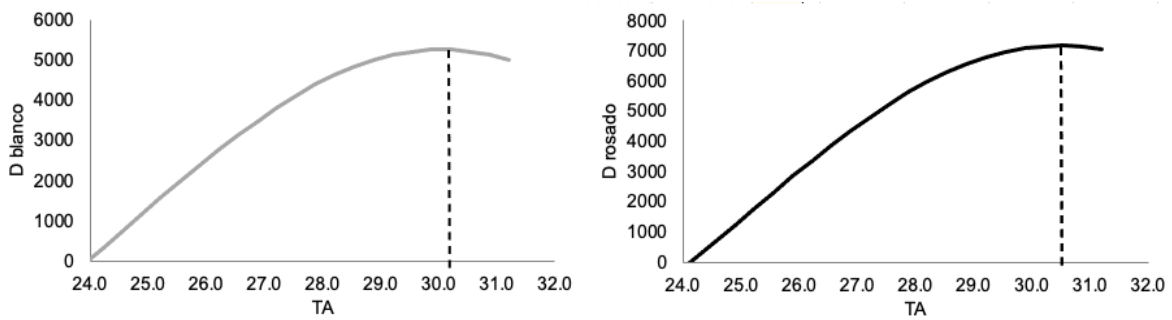


Figura 16. Temperatura del agua (TA) durante el ingreso de las postlarvas de *P. setiferus* (D blanco) y *P. duorarum* (D rosado). Condición óptima (línea punteada).

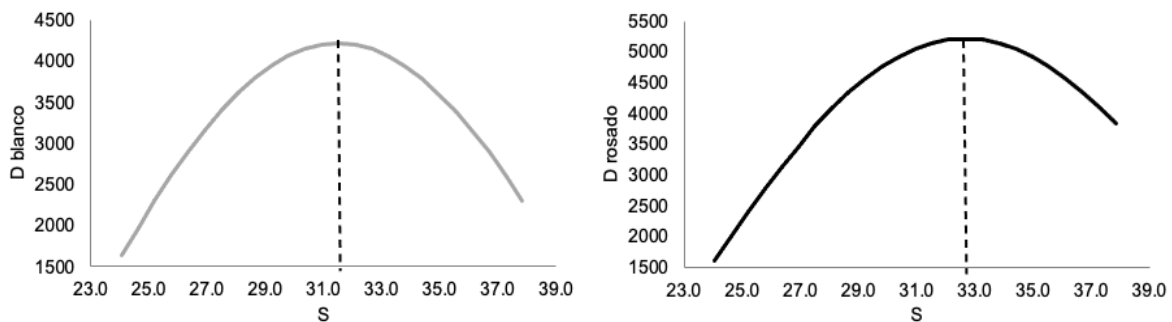


Figura 17. Salinidad (S) durante el ingreso de las postlarvas de *P. setiferus* (D blanco) y *P. duorarum* (D rosado). Condición óptima (línea punteada).

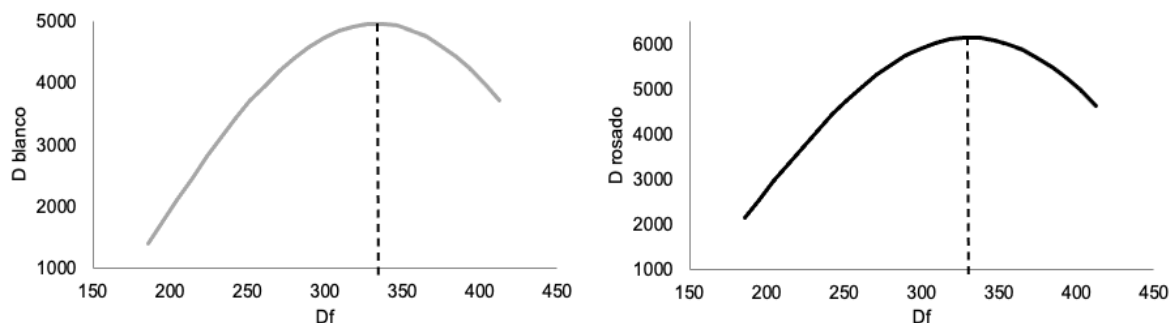


Figura 18. Descarga fluvial (Df) durante el ingreso de las postlarvas de *P. setiferus* (D blanco) y *P. duorarum* (D rosado). Condición óptima (línea punteada).

8.2 Temporadas de reclutamiento lagunar y estacionalidad hidrológica (análisis retrospectivo)

Las series de tiempo mensuales totales de D blanco y D rosado (Anexo 6) se muestran en las Figuras 19 y 20. Los resultados preliminares indicaron que las postlarvas de ambas especies de camarón entraron a la Laguna de Términos durante todo el año. Sin embargo, existen fluctuaciones que señalaron períodos donde se presentó un mayor ingreso de la densidad de postlarvas.

Para *P. setiferus*, en 2010, el mayor ingreso de postlarvas hacia la laguna ocurrió en los meses de junio a septiembre, mientras que, los meses donde se presentó menor densidad de postlarvas fueron de enero a mayo, y de octubre a diciembre. Para 2011, el incremento en la densidad de postlarvas fue en julio y agosto, el decremento se observó de enero a mayo, en octubre y diciembre; finalmente, en 2012, la mayor densidad de postlarvas fue en abril y agosto, mientras que, los meses con menor densidad de postlarvas fueron de enero a marzo, junio, noviembre y diciembre (Figura 19).

Para *P. duorarum*, en 2010, el ingreso más alto de postlarvas a la laguna ocurrió en los meses de julio y agosto, mientras que los meses en la que se presentó menor densidad de postlarvas fueron de enero a mayo y de octubre a

diciembre; para el 2011, el incremento fue en julio y agosto, el decremento se observó de enero a junio, y en octubre y diciembre. Finalmente, en el 2012, la mayor entrada de postlarvas ocurrió en agosto y octubre, mientras que los períodos con menor ingreso fueron de enero-julio y septiembre (Figura 20).

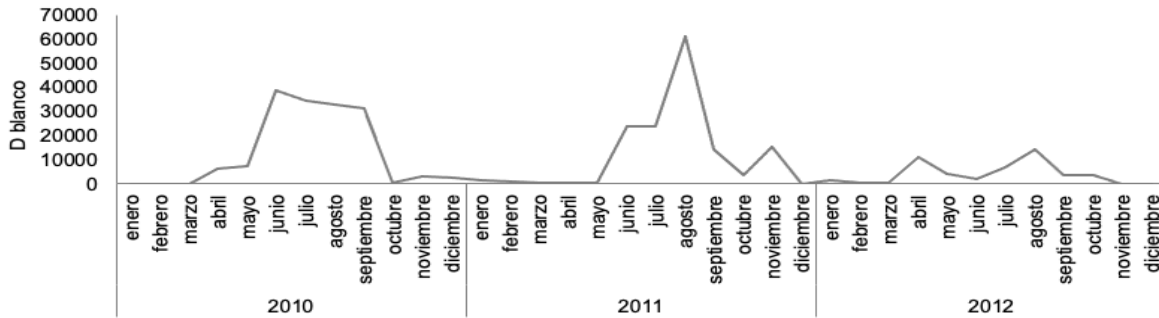


Figura 19. Ingreso mensual de las postlarvas de *Penaeus setiferus* (D blanco).

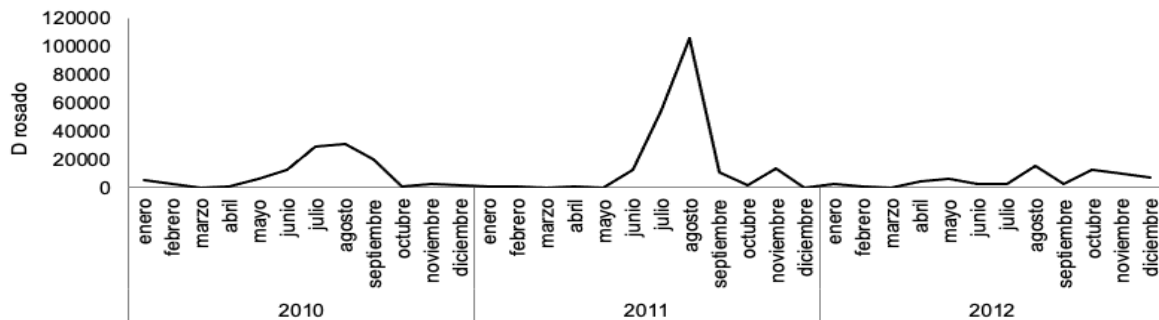


Figura 20. Ingreso mensual de las postlarvas de *Penaeus duorarum* (D rosado).

Debido a que con las series de tiempo mensuales totales no fue posible delimitar confiablemente las temporadas de reclutamiento lagunar, se procedió a extraer los PAV de cada especie.

Con las anomalías positivas del PAV D blanco (*P. setiferus*) se encontró que, en promedio durante cada ciclo anual, la temporada de reclutamiento lagunar comenzó a finales de mayo, presentó un máximo en agosto y finalizó a principios de octubre. Respecto a las anomalías negativas del PAV D blanco, se evidenció

que en el período noviembre - abril se presentó una disminución en la densidad de postlarvas, lo que indicó que la actividad de ingreso lagunar disminuye durante la estación climática invernal (Figura 21, línea continua gris; Anexo 10).

En el caso de las anomalías positivas de la densidad de postlarvas de *P. duorarum*, el PAV D rosado mostró que, en promedio durante cada ciclo anual, la temporada de reclutamiento lagunar comenzó a mediados de junio, presentó un máximo en agosto y terminó a mediados de septiembre. Las anomalías negativas indicaron una disminución en la densidad de postlarvas en los meses de octubre a mayo, siendo el mes de marzo el más bajo, lo que indicó que la actividad de ingreso lagunar disminuye durante la estación climática invernal (Figura 21, línea continua negra; Anexo 10).

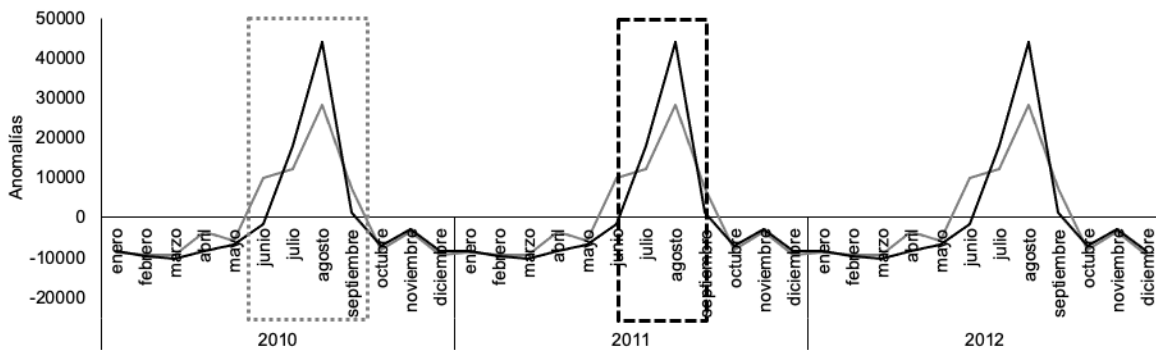


Figura 21. Temporada de reclutamiento lagunar de *P. setiferus* (recuadro gris punteado) y *P. duorarum* (recuadro negro discontinuo). Oscilación cíclica mensual de postlarvas de camarón blanco (línea gris continua), y rosado (línea negra continua).

Las temporadas de reclutamiento lagunar para *P. setiferus* y *P. duorarum* fueron delimitadas durante el transcurso de la estación climática de lluvias en la Sonda de Campeche (de junio a septiembre). En apego a las fechas delimitadas para el inicio de ambos reclutamientos, se encontró que las postlarvas de *P. setiferus* ingresaron primeramente a la Laguna de Términos y aproximadamente 15 días después, ingresaron las postlarvas de *P. duorarum*, posteriormente ambos

ingresos se acoplaron y transcurrieron al mismo tiempo, hasta finalizar las dos temporadas, con desfases en días (Figura 21).

A continuación, se describen preliminarmente las series de tiempo mensuales originales, seguido de los PAV de las variables hidrológicas (VC, TA, S y Df). Después, con todos los PAV involucrados, se describieron las condiciones hidrológicas predominantes en las que ocurrieron ambas las temporadas de reclutamiento lagunar (Tabla 8).

En 2010, la velocidad de corriente aumentó en los meses de marzo, octubre y diciembre; y disminuyó en febrero, agosto y noviembre. En 2011 la VC incrementó en los meses de marzo, junio, agosto y diciembre; y menguó en febrero, abril, julio y octubre. Finalmente, en 2012 la VC se elevó en los meses de marzo, junio, octubre y diciembre, por otro lado, se redujo en febrero, y septiembre (Figura 22; Anexo 6).

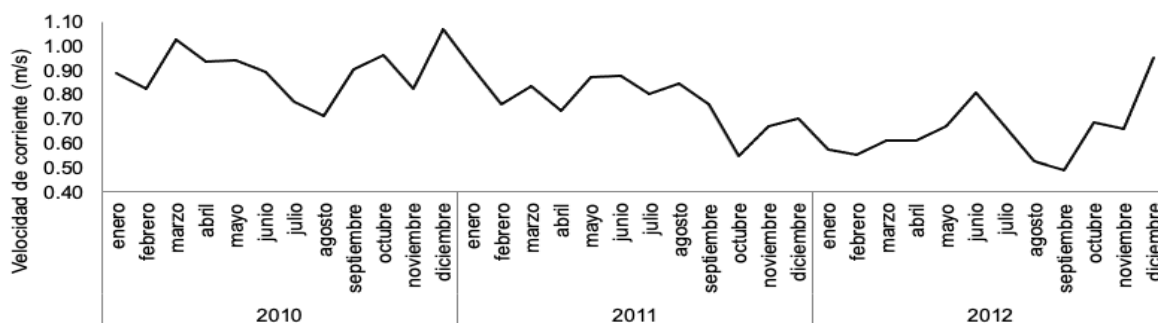


Figura 22. Serie de tiempo mensual original de la velocidad de corriente en Laguna de Términos de 2010 a 2012.

La temperatura del agua en 2010, incrementó en junio y septiembre, por el contrario, disminuyó en marzo y noviembre. Para 2011, la TA aumentó en mayo y agosto; y menguó en julio, octubre y diciembre. En 2012, se elevó en junio y septiembre, y se redujo en enero y diciembre (Figura 23; Anexo 6).

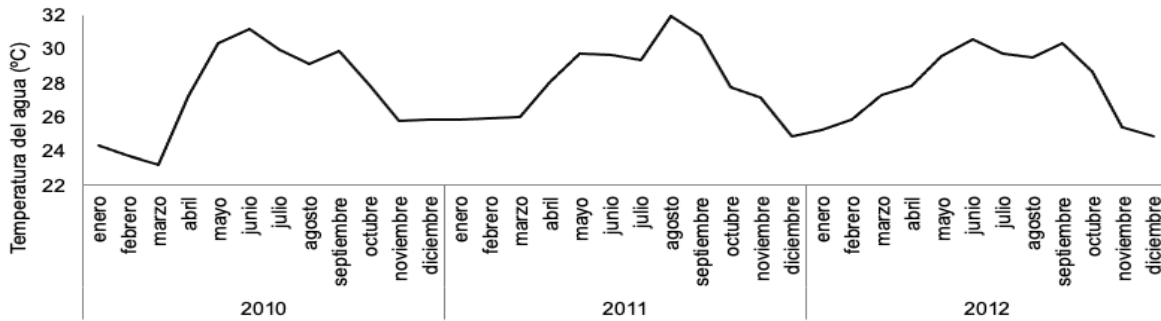


Figura 23. Serie de tiempo mensual original de la temperatura del agua en Laguna de Términos de 2010 a 2012.

En 2010, la salinidad aumentó de marzo a junio, a partir de junio disminuyó, siendo el valor mínimo en septiembre. En 2011 incrementó en marzo, junio y diciembre; y se redujo de agosto a noviembre. Finalmente, en 2012 la S se elevó en enero a mayo y mostró reducciones no sustanciales el resto del año (Figura 24; Anexo 6).

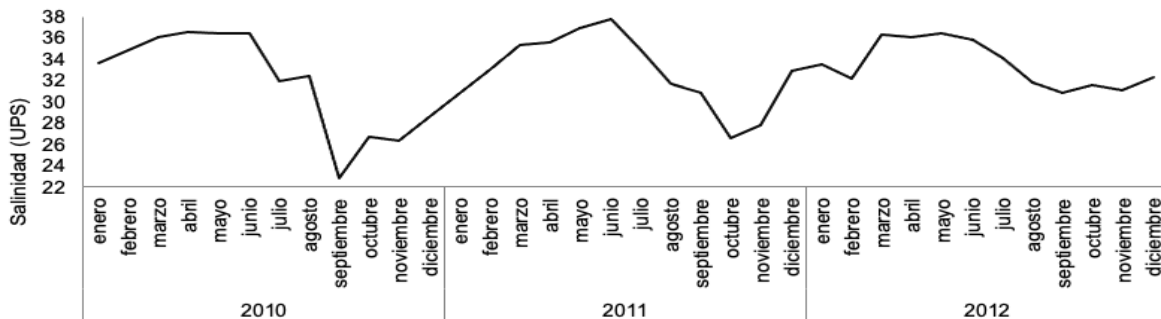


Figura 24. Serie de tiempo mensual original de la salinidad en Laguna de Términos de 2010 a 2012.

La descarga fluvial en 2010, aumentó de agosto a octubre, y disminuyó de enero a junio y de noviembre a diciembre, siendo el mínimo en febrero y diciembre. Para 2011 y 2012, la Df siguió el mismo patrón que el año anterior, pero con magnitudes diferentes (Figura 25; Anexo 6).

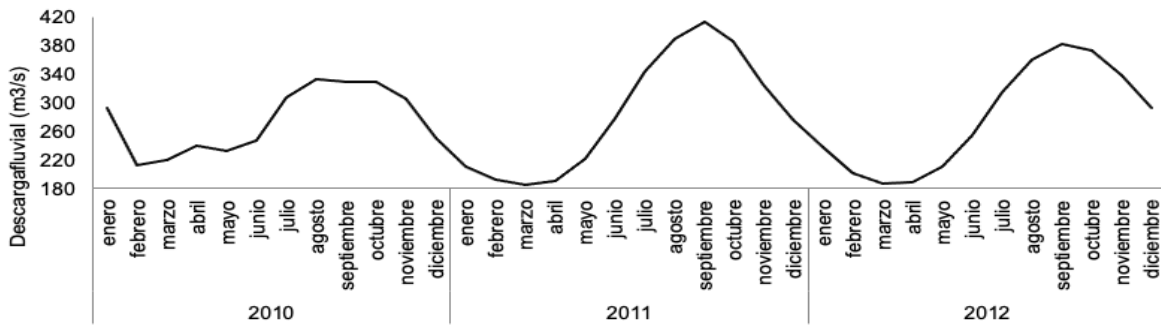


Figura 25. Serie de tiempo mensual original de la descarga fluvial en Laguna de Términos de 2010 a 2012.

Con las anomalías cíclicas positivas del PAV de VC (Figura 26; Anexo 10), se demostró que en promedio a lo largo de la columna de agua y durante cada ciclo anual, VC registró tres períodos con incrementos máximos de velocidad en marzo, junio y diciembre. Con las anomalías negativas del PAV de VC, se muestra disminución de velocidad desde mediados de julio a mediados de noviembre. Por lo cual se evidencia que durante las temporadas de RL es dominante la disminución en la VC (Figura 26).

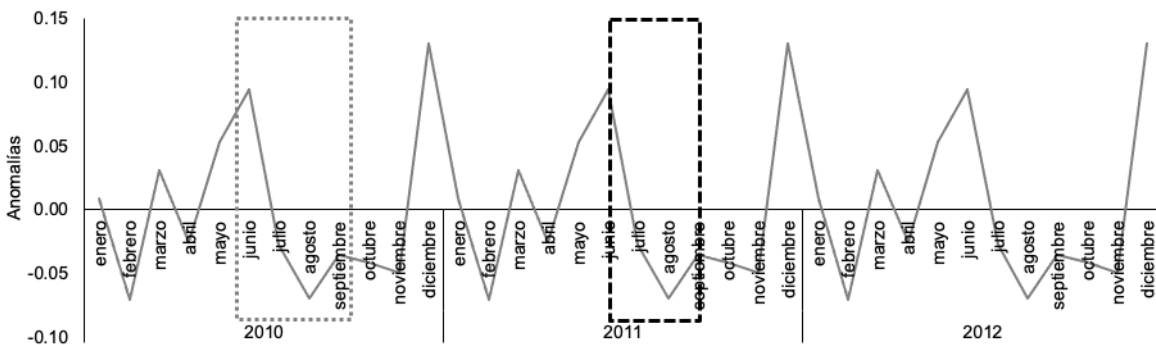


Figura 26. Oscilación cíclica mensual de la velocidad de corriente en Laguna de Términos de 2010 a 2012. Período de reclutamiento lagunar del camarón blanco (recuadro gris punteado), y del camarón rosado (recuadro negro discontinuo).

La temporada de RL de *P. setiferus* (Figura 26, recuadro punteado gris) inició con VC promedio en la columna de agua $0.83 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, mientras que durante el pico y el final de RL, VC fue se mantuvo entre $0.70 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y $0.72 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. En comparación con la Figura 15, VC a media agua (4 m) para promover el ingreso de postlarvas de *P. setiferus* fue de $0.76 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Por otro lado, la temporada de reclutamiento lagunar de *P. duorarum* (Figura 26, recuadro discontinuo negro) inició con VC promedio en la columna de agua de $0.86 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, posteriormente, durante el máximo y final del RL, la VC se mantuvo entre $0.70 - 0.72 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. En comparación con la Figura 15, la VC a media agua (4 m) para promover el ingreso de postlarvas de *P. duorarum* fue de $0.72 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Con las anomalías positivas del PAV TA (Figura 27; Anexo 10), se encontró que en promedio durante cada ciclo anual, TA se mantuvo en fase cálida a inicios de abril y finales de octubre. Los máximos son en junio y septiembre. Entre julio y agosto, se registró un descenso de TA que en apego a la Figura 29, se consideró ocasionado por el incremento acumulado en Df. Entre las temporadas de RL, fueron dominantes las anomalías cíclicas negativas, indicando que TA disminuye durante la estación climática invernal.

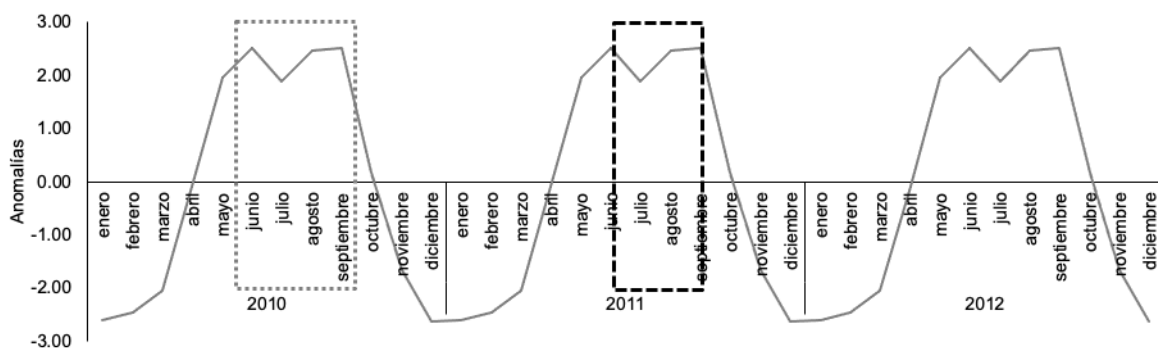


Figura 27. Oscilación cíclica mensual de la temperatura del agua en Laguna de Términos de 2010 a 2012. Período de reclutamiento lagunar del camarón blanco (recuadro gris punteado), y del camarón rosado (recuadro negro discontinuo).

Las temporadas de reclutamiento lagunar de *P. setiferus* inició con el incremento de la TA (29.9°C); durante el pico, la TA fue alta (30.2°C); y al final del RL, la TA disminuyó (28.1°C). Concordante con la Figura 16, TA a media agua (4 m) para promover el ingreso de postlarvas de *P. setiferus* fue de 30.2°C.

Por otro lado, RL de *P. duorarum* (Figura 27, recuadro discontinuo negro) inició, presentó su máximo y final durante los máximos de TA (30.2°C - 30.5°C). Concordante con la Figura 16, la TA a media agua (4 m) para promover el ingreso de postlarvas de *P. duorarum* fue de 30.5°C.

Con las anomalías cíclicas positivas PAV S (Figura 28; Anexo 10), se encontró que, en promedio durante cada ciclo anual, S se incrementó en enero, evidenció un máximo en junio y disminuyó en agosto. Entre las temporadas de reclutamiento lagunar, fueron dominantes las anomalías cíclicas negativas, indicando que S se mantiene baja durante la estación climática invernal.

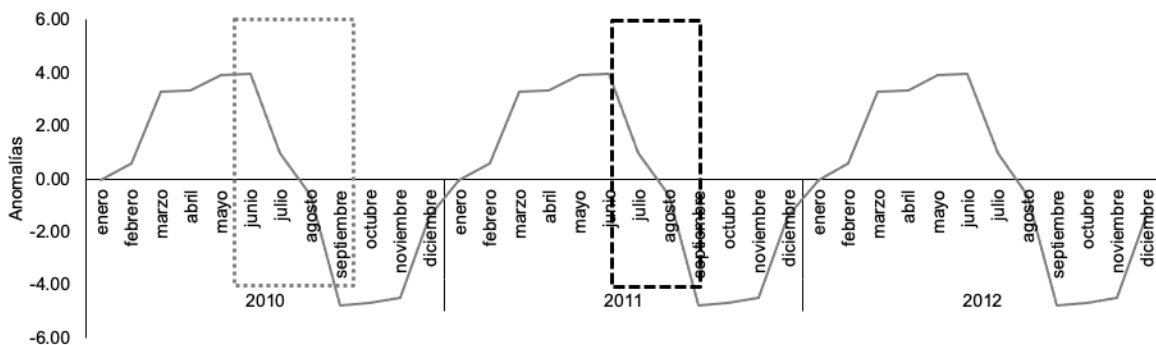


Figura 28. Oscilación cíclica mensual de la salinidad en Laguna de Términos de 2010 a 2012. Período de reclutamiento lagunar del camarón blanco (recuadro gris punteado), y del camarón rosado (recuadro negro discontinuo).

La temporada de reclutamiento lagunar de *P. setiferus* inició con S promedio en la columna de agua de 36.6 ups, entre el máximo y hacia el final de la temporada, S disminuyó de 32 ups a 28.3 ups. En comparación con la Figura 17,

S a media agua (4 m) para promover el ingreso de postlarvas de *P. setiferus* es de 31.5 ups.

La temporada de reclutamiento lagunar de *P. duorarum* inició con una S promedio en la columna de agua de 36.7 ups, entre el máximo y hacia el final de la temporada, S disminuyó de 32 ups a 28.2 ups. En comparación con la Figura 17, la S a media agua (4 m) para promover el ingreso de postlarvas de *P. duorarum* fue de 32.7 ups.

Como está indicado en la Figura 21, los máximos PAV de D blanco y D rosado ocurren en agosto. Coincidiendo con las Figuras 28 y 29 respecto al descenso de S generado por el incremento acumulado en la Df. Con base en lo anterior, se puede inferir que cuando S permanece mayor a 35 ups, al interior de la Laguna de Términos, la probabilidad de ingreso de postlarvas es menor (Figuras 12 y 13). Así, cuando S desciende a los niveles registrados a 4 m, la probabilidad de ingreso de postlarvas es mayor.

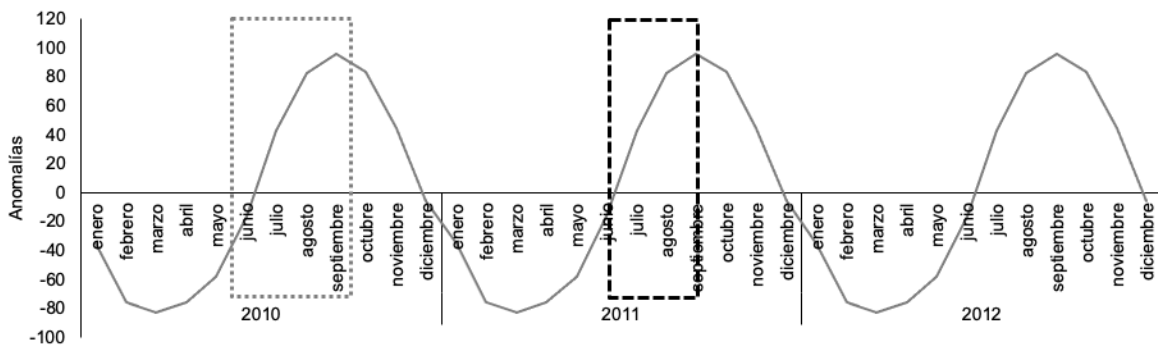


Figura 29. Oscilación cíclica mensual de la descarga fluvial en Laguna de Términos de 2010 a 2012. Período de reclutamiento lagunar del camarón blanco (recuadro gris punteado), y del camarón rosado (recuadro negro discontinuo).

Con las anomalías cíclicas positivas PAV Df (Figura 29; Anexo 10), se encontró que, en promedio durante cada ciclo anual, Df se incrementó a mediados de junio, evidenció un máximo en septiembre y disminuyó en diciembre. Entre las

temporadas de reclutamiento lagunar, fueron dominantes las anomalías cíclicas negativas, indicando que, en el punto máximo RL, Df se mantiene al descenso durante la estación climática invernal.

La temporada de reclutamiento lagunar de *P. setiferus* inició con Df acumulada de 221.9 m³s⁻¹, entre el máximo y hacia el final de la temporada, Df acumulada se incrementó de 360.9 m³s⁻¹ y 362.3 m³s⁻¹. En comparación con la Figura 18, Df a media agua (4 m) para promover el ingreso de postlarvas de *P. setiferus* fue de 337 m³s⁻¹.

La temporada de RL de *P. duorarum* inició con Df acumulada de 260.1 m³s⁻¹, entre el máximo y hacia el final de la temporada, la Df acumulada se incrementó de 360.9 m³s⁻¹ y 374.9 m³s⁻¹. En comparación con la Figura 18, Df a media agua (4 m) para promover el ingreso de postlarvas de *P. setiferus* fue de 338 m³s⁻¹.

Los resultados obtenidos considerando los tres niveles de profundidad, confirmaron que aun con los desfases en las fechas de ingreso de postlarvas de camarón (Figura 21), las temporadas de reclutamiento lagunar de *P. setiferus* y *P. duorarum* transcurren dentro de un régimen hidrológico con poca variación, pero suficiente para lograr máximos de ingreso lagunar, predominantemente a 4 m (Figuras 12 y 13).

Como fue evidenciado con las series de tiempo PAV, las condiciones hidrológicas están desfasadas entre sí y con respecto a PAV D blanco y D rosado. Estos desfases impidieron establecer correlaciones múltiples confiables entre todos los PAV involucrados, porque cuando iniciaron las temporadas de reclutamiento lagunar, Df y TA comenzaron a ascender; mientras que, VC y S continuaban en descenso. Por esta razón, para establecer correlaciones múltiples confiables y consistentes con las descripciones hidrológicas indicadas en las Figuras 26 a 29. Se seleccionó, y tomó como referencia base de análisis el ciclo anual completo y se dividió en dos secciones. La primera sección consistió en el

ascenso del reclutamiento lagunar, este se estableció de junio (ingreso de postlarvas) a agosto (máximos de ingreso de postlarvas). La segunda sección comprendió los mínimos de ingreso de postlarvas (descenso del reclutamiento lagunar), fué de septiembre a mayo. Así, para cada episodio se realizó el análisis de correlación múltiple (Tablas 8 y 9).

La matriz de correlación durante el ascenso del RL (Tabla 8), evidenció una correlación directa entre ascensos en la densidad de postlarvas de ambas especies (D blanco y D rosado). Entre la densidad de postlarvas con respecto a Df y TA, las correlaciones fueron directas; e inversas con S y VC. Estos resultados sugieren que las postlarvas de ambas especies ingresaron a la Laguna de Términos en condiciones hidrológicas cálidas, comenzando a incrementar Df, con S y VC al descenso.

Complementariamente, se encontró una relación directa entre VC, TA y S. Así mismo, se generó una relación inversa entre Df y el resto de variables (Tabla 8).

La matriz de correlación durante el descenso de RL (Tabla 9), se evidenció correlación directa entre los descensos en la densidad de las postlarvas de ambas especies (D blanco y D rosado). Entre la densidad de las postlarvas con respecto a Df y TA, las correlaciones fueron directas; e inversas con S y VC. Estos resultados sugieren que las postlarvas de ambas especies disminuyeron el ingreso a la Laguna de Términos en condiciones hidrológicas cálidas, con alta Df acumulada, con S y VC en sus menores magnitudes.

Complementariamente, se encontró que VC presentó una relación directa con S, e inversa con TA y Df. Por otro lado, TA generó una relación directa con la Df e inversa con la S. Finalmente, S demostró una relación inversa con la Df (Tabla 9).

Tabla 8. Matriz de correlación durante el ascenso del reclutamiento lagunar (junio-agosto) y las variables hidrológicas. Densidad de postlarvas de *P. setiferus* (D blanco) y *P. duorarum* (D rosado); velocidad de corriente (VC); temperatura del agua (TA); salinidad (S); descarga fluvial (Df). Estadísticamente significativo (Rojo).

	D blanco	D rosado	VC	TA	S
D rosado	.9430 <i>p = .000</i>				
VC	-.7708 <i>p = .015</i>	-.9389 <i>p = .000</i>			
TA	.3518 <i>p = .353</i>	.0201 <i>p = .959</i>	.3252 <i>p = .393</i>		
S	-.8265 <i>p = .006</i>	-.9667 <i>p = .000</i>	.9957 <i>p = .000</i>	.2362 <i>p = .541</i>	
Df	.8620 <i>p = .003</i>	.9816 <i>p = .000</i>	-.9874 <i>p = .000</i>	-.1714 <i>p = .659</i>	-.9978 <i>p = .000</i>

Tabla 9. Matriz de correlación durante el descenso del reclutamiento lagunar (septiembre-mayo) y las variables hidrológicas. Densidad de postlarvas de *P. setiferus* (D blanco) y *P. duorarum* (D rosado); velocidad de corriente (VC); temperatura del agua (TA); salinidad (S); descarga fluvial (Df). Estadísticamente significativo (Rojo).

	D blanco	D rosado	VC	TA	S
D rosado	.9023 <i>p = .000</i>				
VC	-.3350 <i>p = .088</i>	-.3101 <i>p = .115</i>			
TA	.7347 <i>p = .000</i>	.6334 <i>p = .000</i>	-.1629 <i>p = .417</i>		
S	-.4039 <i>p = .037</i>	-.6721 <i>p = .000</i>	.3225 <i>p = .101</i>	-.1011 <i>p = .616</i>	
Df	.5606 <i>p = .002</i>	.7827 <i>p = .000</i>	-.2382 <i>p = .232</i>	.4074 <i>p = .035</i>	-.9351 <i>p = .000</i>

Los resultados de correlación múltiple, para los dos episodios, indicaron lo siguiente:

1. Desde el ingreso hasta alcanzar el máximo de densidad (en ambas especies de camarón), las condiciones hidrológicas en la columna de agua fueron con VC y S en descenso, TA cálida y con Df comenzando a incrementar.

2. El ingreso de postlarvas comenzó a descender (en ambas especies de camarón), cuando la influencia de VC y S aumentaron, mientras que TA fue fría y Df disminuyó.

8.3 Simulación de la densidad de postlarvas

Al implementar la Ecuación 4 con los registros inscritos en el Anexo 6, para las predicciones canónicas retrospectivas (período del 2010 al 2012), la confrontación estadística por χ^2 resultó en la aceptación de la hipótesis H_a , D blanco_{obs} - D blanco_{esp}: $\chi^2 = 12923$, $\chi^2_{\alpha} = 46.19$, $n = 36$, $gl = 32$, $p < 0.05$; y D rosado_{obs} - D rosado_{esp}: $\chi^2 = 97192.71$, $\chi^2_{\alpha} = 46.19$, $n = 36$, $gl = 32$, $p < 0.05$, es decir, que los valores observados y los esperados de las densidades de postlarvas son diferentes (Anexo 12). Por lo anterior, se determinó que la Ecuación 4, no fue viable para predecir la densidad observada, aunque la obtuvo un poder predictivo del 98%. Lo anterior se atribuyó al lr (99%) obtenido entre la D blanco y la D rosado, es decir, existe una alta asociación entre las variables dependientes.

Por otro lado, al utilizar la Ecuación 9 con los registros inscritos en el Anexo 6 para las predicciones canónicas retrospectivas (período del 2010 al 2012), la confrontación estadística por χ^2 resultó en la aceptación de la hipótesis H_0 , D blanco_{obs} - D blanco_{esp}: $\chi^2 = 8.61$, $\chi^2_{\alpha} = 46.19$, $n = 36$, $gl = 32$, $p = 0.99$; y D rosado_{obs} - D rosado_{esp}: $\chi^2 = 1.14$, $\chi^2_{\alpha} = 46.19$, $n = 36$, $gl = 32$, $p = 0.99$, es decir, los valores de observados y los esperados de las densidades de postlarvas son iguales (Anexo 13; Figuras 30 y 31, líneas puntuadas negras). Por lo anterior, se estableció que la Ecuación 9, es viable para predecir la densidad observada. Por ende, la Ecuación 9 se utilizó para la predicción canónica prospectiva de las

densidades de las postlarvas con base en los registros hidrológicos del 2013 al 2015 (Anexo 14; Figuras 30 y 31, líneas grises continuas).

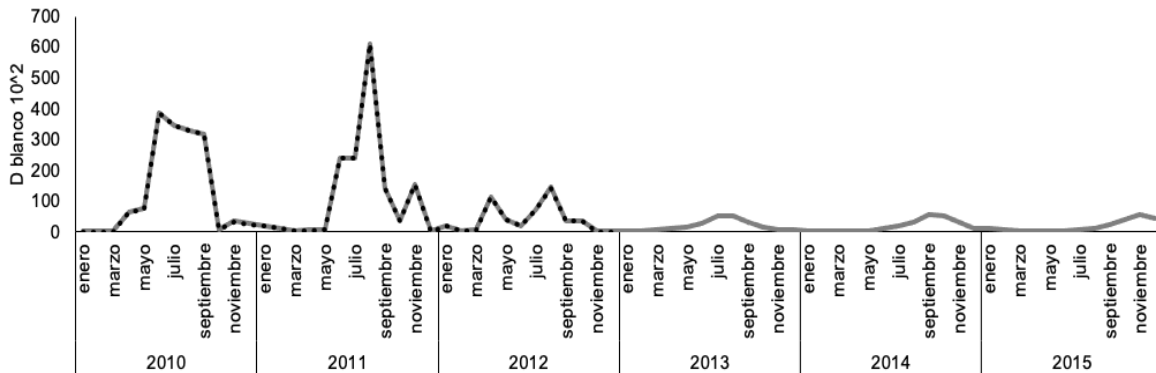


Figura 30. Variación interanual de postlarvas de *P. setiferus* en la Laguna de Términos. Densidad observada (línea punteada negra), y esperada (línea gris continua); predicción retrospectiva (2010 al 2012), y prospectiva (2013 al 2015).

Con la Ecuación 9 la predicción canónica prospectiva de la serie de tiempo $D_{blanco_{esp}}$ resultó con oscilaciones estacionales altas a partir de julio hasta septiembre, mientras que las oscilaciones mínimas se presentan de noviembre hasta mayo (Figura 30, línea gris continua). Esto es similar a lo establecido antes con el PAV D_{blanco} (Figura 21, línea continua gris). Así, para *P. setiferus*, se validó que, en promedio durante cada ciclo anual, las temporadas de reclutamiento lagunar inician a finales de mayo, presentan el máximo en agosto y terminan a principios de octubre. Además, la actividad de ingreso lagunar disminuye durante la estación climática invernal.

Así mismo, con la Ecuación 9 la predicción canónica prospectiva de la serie de tiempo $D_{rosado_{esp}}$ resultó con oscilaciones estacionales altas a partir de julio a septiembre, mientras que las oscilaciones mínimas se presentan de noviembre hasta mayo (Figura 31, línea gris continua). Esto es como a las establecidas antes con el PAV D_{rosado} (Figura 21, línea continua negra). Así, para *P. duorarum* se validó que, en promedio durante cada ciclo anual, las temporadas de

reclutamiento lagunar inician a mediados de junio, presentan el máximo entre agosto y terminan a finales de septiembre. Además, la actividad de ingreso lagunar disminuye durante la estación climática invernal.

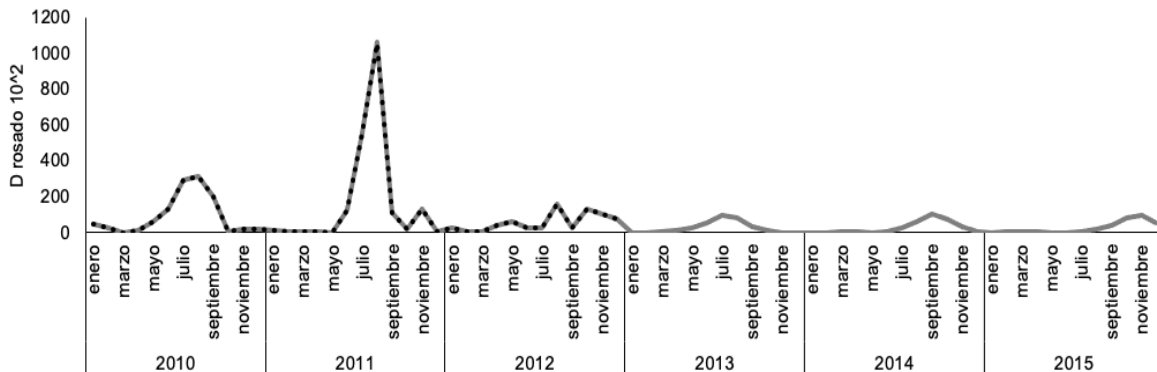


Figura 31. Variación interanual de postlarvas de *P. duorarum* en la Laguna de Términos. Densidad observada (línea punteada negra), y esperada (línea continua gris); predicción retrospectiva (2010 al 2012), y prospectiva (2013 al 2015).

8.4 Reproducción

Con las anomalías positivas del PAV de TSM, se demostró que los cambios hacia temperaturas cálidas iniciaron en abril, con un máximo en septiembre y finalizó en noviembre. Asimismo, las negativas indicaron que los cambios hacia temperaturas frías se presentaron de inicios de noviembre a principios de abril (Figura 32, línea gris oscuro; Anexo 15).

Por otro lado, las anomalías positivas del PAV de la concentración de Cl-a indicaron que, el aumento inició a finales de agosto, presentó un máximo en octubre y finalizó a finales de diciembre; mientras que las negativas mostraron que la baja concentración de Cl-a se presentó de enero a finales de agosto (Figura 32, línea gris claro; Anexo 15).

En apego con la Figura 32, y para un ciclo anual, la temporada de reproducción marina de los camarones blanco y rosado, ocurre de octubre a diciembre, período en el cual TSM disminuye y la concentración de Cl-a aumenta (Figura 32; recuadro negro). Por otro lado, con el método indirecto utilizando la densidad de las postlarvas, RL se presentó de mayo a septiembre con el pico en el mes de agosto, tomando en cuenta que desde la liberación de los gametos (reproducción) hasta la fase de postlarva transcurren alrededor de tres semanas, esto sugiere que la reproducción se llevó a cabo de abril a agosto, con el pico en el mes de julio. Por lo anterior, las temporadas de RL delimitadas en el presente trabajo no forman parte de la señal reproductiva invernal documentada en la literatura. Evidenciando que en las poblaciones de camarón, en el Banco de Campeche, existen dos eventos reproductivos, el primero en julio (temporada de lluvias) y el segundo en octubre (temporada invernal).

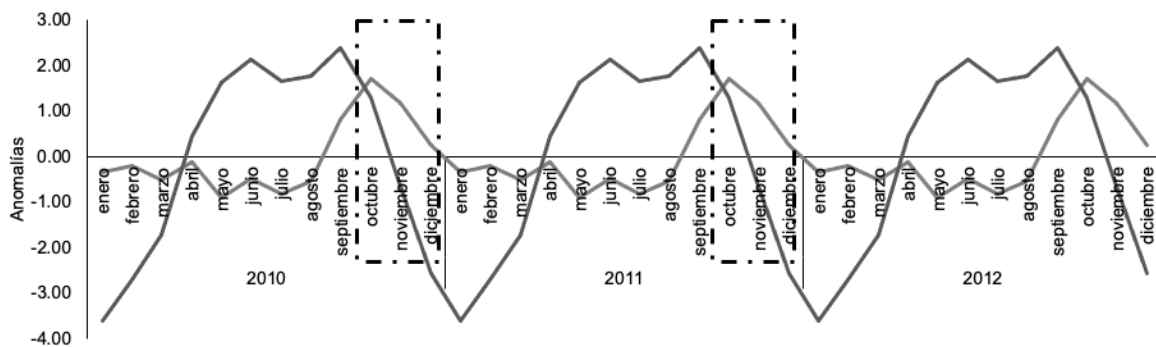


Figura 32. Oscilación mensual de la temperatura superficial del mar (línea gris oscuro) y la concentración de clorofila a (línea gris claro) de 2010 a 2012 en la Laguna de Términos. Período de reproducción (recuadro . -).

Se ha documentado que los peneidos reproductores son organismos de entre seis y ocho meses de edad (Gracia, 1992; Cervantes-Hernández, 1999; Cervantes-Hernández *et al.*, 2017), con base en lo anterior, los organismos generados (nacidos) en la temporada reproductiva de lluvias, son los que se reproducen en invierno. Asimismo, los organismos nacidos de la temporada

invernal, son los que se reproducen en lluvias, cerrando así el ciclo de reproducción de los camarones blanco y rosado (Figura 33).

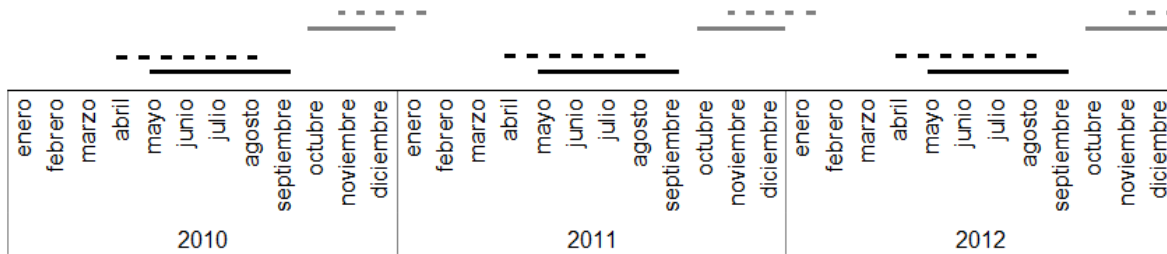


Figura 33. Temporadas reproductivas y de reclutamiento lagunar. Temporada general de reclutamiento lagunar (RL) (línea negra), reproducción (línea gris), nacimiento de postlarvas del RL (línea negra punteada); nacimiento de postlarvas por temporada de reproducción (línea gris punteada).

Durante el primer evento de reproducción (julio) las condiciones ambientales en promedio fueron de: TSM = 28.9°C, concentración de Cl-a = 1.48 mg*m⁻³, VC = 0.73 m³s⁻¹, TA = 29.5°C, S = 34.54 ups y Df = 329 m³s⁻¹. Mientras que en el segundo pico de reproducción (octubre) las condiciones ambientales fueron en promedio: TSM = 28.9°C, concentración de Cl-a = 3.97 mg*m⁻³, VC = 0.73 m³s⁻¹, TA = 28.1°C, S = 28.33 ups y Df = 362.34 m³s⁻¹ (Anexo 6).

8.5 Veda

Al comparar la presencia de las temporadas de reclutamiento lagunar de *P. setiferus* y *P. duorarum* (Figura 21), y la temporada de pesca y veda (Figura 34, líneas verde y roja, respectivamente), se puede observar que el RL se presentó durante la temporada de veda, y durante la temporada de pesca no se detectó temporada de RL. Esto confirma que, durante la temporada de pesca, los camarones adultos al ser capturados no se reproducen, y por ende, la presencia de postlarvas no es detectada para observar el segundo evento de RL derivado de la reproducción invernal.

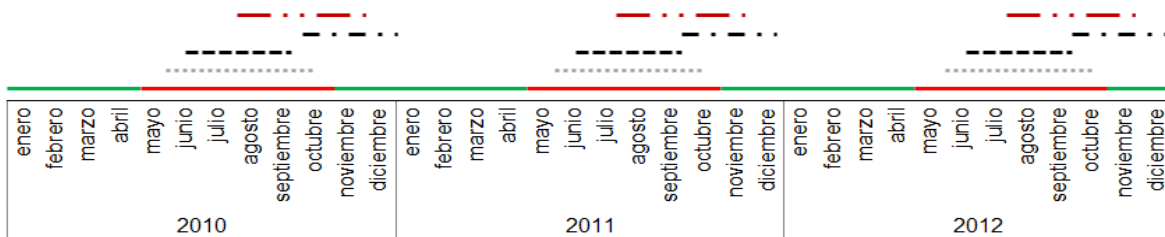


Figura 34. Propuesta para la temporada de veda en la Sonda de Campeche (agosto – noviembre, .-.). RL Blanco (finales de mayo – principios de octubre,); RL Rosado (mediados de junio – mediados de septiembre, --); temporada de reproducción (octubre – diciembre, .-); período de pesca vigente (noviembre - abril, línea verde); período de veda vigente (mayo - octubre, línea roja).

Por otro lado, para proteger la reproducción de camarón, permitir el crecimiento de los jóvenes reclutas, incrementar la biomasa poblacional, maximizar el volumen y valor de captura, se establece que la temporada de veda debe abarcar el descenso del pico de RL y el ascenso de la temporada de reproducción. Comparando las Figuras 21 y 32, se encontró que las vedas no están enfocadas en proteger las temporadas de reproducción marina de camarones, y han protegido desde su creación, las temporadas de reclutamiento lagunar (Figura 34).

Las estimaciones obtenidas para las series de tiempo D blanco y D rosado (Figuras 19 y 20), en comparación con las reportadas en la literatura para la abundancia de reproductores marinos, sugieren que el evento reproductivo que genera la señal del RL, es de menor envergadura, en comparación con la reproducción invernal, que es considerado masivo. Por esta razón, para incrementar el nivel de captura del recurso camarón en la Sonda de Campeche y golfo de México, las vedas deben re-implementarse para la protección del RL y casi completamente, las temporadas de reproducción marina de camarones. Por lo tanto, la veda debe ser de agosto a noviembre (Figura 34, línea discontinua guinda).

9 Discusión

9.1 Preferencia de entrada lagunar

Durante la fase de postlarva planctónica los camarones peneidos presentan básicamente dos tipos de movimientos, uno activo o migración vertical, y otro pasivo, advección o deriva. Estos movimientos son utilizados durante su ingreso a las áreas de crianza. El proceso de ingreso de las postlarvas es favorecido primordialmente por factores tales como los patrones de circulación costera, vientos, topografía y de forma muy importante por las corrientes de marea (Dronkers, 1988; Flores-Coto y Pérez-Argudín, 1991; Richards *et al.*, 1995; Kingsford y Suthers, 1996; Flores-Coto *et al.*, 2010; Gómez-Ponce *et al.*, 2018). Durante la pleamar se producen corrientes de mayor velocidad cerca de las costas, por lo tanto, el aporte de agua marina domina en las lagunas costeras y con ello las postlarvas (Flores-Coto y Pérez-Argudín, 1991).

Durante el análisis de los tres años de muestreo se detectó ingreso preferencial de ambas especies de postlarvas (*P. setiferus* y *P. duorarum*) a 4 m de profundidad, lo cual fue descrito por Gómez-Ponce *et al.* (2018), quienes mencionan que las postlarvas de *P. setiferus* ingresan de manera preferencial entre 1 m y 5 m de profundidad. Cabe mencionar que Flores-Coto *et al.* (2010; 2018), en estudios realizados en la laguna de Carmen y Machona en Tabasco, observaron que las postlarvas de *P. setiferus* y *P. duorarum* ingresaron de manera indistinta en la columna de agua, sin presentar preferencia por la profundidad.

A los 4 m de profundidad las variables hidrológicas (VC, TA, S y Df) por profundidad fueron similares entre ellas, y se observó que VC presentó la mayor variación, por lo tanto, se consideró que este era el factor que más influye en la migración vertical de las postlarvas, lo cual corresponde con lo reportado por Gómez-Ponce *et al.* (2018) en la Laguna de Términos, Campeche, y Flores-Coto *et al.* (2010) en la Laguna de Carmen y Machona en Tabasco. Los organismos

planctónicos, como es el caso de las postlarvas realizan movimientos en la columna de agua, tales movimientos son controlados por factores como la iluminación, en el caso de la migración vertical (Criales *et al.*, 2005). Mientras que los movimientos en el plano horizontal, las postlarvas utilizan las corrientes de marea, esto es conocido como transporte selectivo de flujo de marea, y les permite maximizar su movilidad, asegurando de esta manera su llegada a las áreas de asentamiento (Puentes-Salazar *et al.*, 2020). De esta manera pueden lograr una mayor penetración a la laguna, favoreciendo así el éxito del reclutamiento lagunar.

Por otro lado, a los 4 m de profundidad las condiciones hidrológicas son propicias para la sobrevivencia de las postlarvas, además de que las condiciones de turbulencia generada por el movimiento de las corriente es menor, lo cual es favorable para las postlarvas permitiendo que la energía sea utilizada para el cambio de hábitat de planctónico a béntico (Alarcón-Daowz, 1986; Dall *et al.*, 1990; Gracia *et al.*, 1997; Forward y Tankersley, 2001; Queiroga y Blanton, 2005; Wenner *et al.*, 2005; Criales *et al.*, 2007; Gómez-Ponce *et al.*, 2018; Gómez-Ponce, 2019). Es importante señalar que la tolerancia fisiológica de las postlarvas en función de salinidad, la temperatura del agua, concentración de oxígeno, intensidad de luz, turbulencia, dinámica reproductiva, entre otros influyen directamente durante el proceso de migración (Criales *et al.*, 2006; Ogburn *et al.*, 2013).

La variación de temperatura del agua y salinidad con respecto a los diferentes niveles de profundidad analizados fue mínima. Flores-Coto *et al.* (2010), concluyen que estos factores ambientales no ejercen una influencia directa sobre el proceso de inmigración. Sin embargo, contrasta con lo reportado por Gómez-Ponce *et al.* (2018), quienes encontraron una relación directa entre temperatura, salinidad y profundidad.

En la Laguna de Términos, se identificó en el perfil vertical de la columna de agua, una única masa de agua entrante. De esta manera, las postlarvas

encuentran condiciones óptimas de las variables hidrológicas para su ingreso a la laguna, esto minimiza el estrés, y les permite el ahorro de energía. A diferencia de que si se presentaran desiguales masas de agua, las cuales por vaciación en su densidad, podrían generar una barrera que las postlarvas no lograrían atravesar o incrementarían su gasto energético. La homogeneidad en la columna de agua puede deberse al proceso de mezcla generado por las corrientes de marea, que es común en lagunas costeras (Zijlstra, 1988).

Las condiciones hidrológicas observadas durante el ingreso de las postlarvas en el estrato de media agua concuerda con lo reportado por Gómez-Ponce *et al.* (2018), quienes observaron que las postlarvas de camarón blanco fueron abundantes en un flujo de marea entre $0.7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y $1.0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, señalando que las postlarvas evitan corrientes fuertes ($>1.0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$). Forward *et al.* (2001) mencionaron que las postlarvas de peneidos evitan flujos altos de velocidad porque esto implicaría un mayor gasto de energía de los organismos, debido a una mayor turbulencia en la columna de agua. Además de que no son capaces de nadar contra corriente mayores a $0.3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Wickham, 1967). Sin embargo, Flores-Coto *et al.* (2010) registraron velocidades de $0.2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a $1.2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, y no encontraron relación entre la densidad de las postlavas y la velocidad de la corriente de marea.

La temperatura del agua tiene un efecto directo en el metabolismo de las postlarvas, principalmente relacionado con el consumo de oxígeno, crecimiento, muda y sobrevivencia de los camarones (Staples y Heales, 1991; Chen *et al.*, 1995). Asimismo, tiene un efecto directo en salinidad y oxígeno disuelto. Se ha documentado ampliamente que los camarones reducen su actividad a temperaturas menores a 26°C (Dakin, 1938; Eldred *et al.*, 1961; Joyce, 1965; Fuss y Ogren, 1966; White, 1975; Reynolds y Casterlin, 1979; Kuttyamma, 1981; Dall *et al.*, 1990), lo cual resulta en un cambio en la velocidad de movimiento pasando de $0.03 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a 16°C a $0.13 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a 26°C (Dall *et al.*, 1990). Esto explica y concuerda con lo observado en este estudio, donde ingreso de postlarvas a la laguna, se

presentó a temperaturas mayores a 23°C, con óptimos entre los 30.2°C y 30.5°C para cada especie, de esta manera a esas temperaturas la movilidad está garantizada para un efectivo desplazamiento dentro de la laguna.

Las postlarvas utilizan la salinidad como un mecanismo para identificar áreas de crianza o reproducción (Williams y Deubler, 1968; Hughes, 1969; Young y Carpenter, 1977), y los intervalos óptimos de salinidad varía dependiendo de la especie. Adicionalmente, está documentado que la salinidad permite la activación de algunos mecanismos de defensa, particularmente aquellos provocados por infecciones, así como, en la cicatrización de heridas (Vargas-Albores *et al.*, 1998). También el proceso de muda es dependiente de la salinidad (Ahl y Brown, 1990). Con base en lo anterior, esta influencia de S puede controlar el proceso de asentamiento de las postlarvas durante su reclutamiento a las áreas de crianza durante su cambio de hábitat de planctónico a béntico.

9.2 Reclutamiento lagunar

Con base en la Figura 19, se demostró que las temporadas de reclutamiento lagunar para *P. setiferus* y *P. duorarum* fueron delimitadas durante el transcurso de la estación climática de lluvias. Ambos RL presentaron 15 días de diferencia en sus patrones de ingreso lagunar, y finalizaron en el mismo mes; por ende, se estableció de manera general que RL para estas especies es de mayo a septiembre, ambos con un máximo de densidad de postlarvas en agosto. Este patrón de variación similar entre ambas especies, ya había sido registrado previamente por Flores-Coto *et al.* (2010), para la Laguna de Carmen y Machona en Tabasco.

La temporada de reclutamiento lagunar de *P. setiferus* y *P. duorarum* concuerda con lo reportado por Gracia y Soto (1990), Gómez-Ponce *et al.* (2018) y Flores-Coto *et al.* (2018), los cuales son trabajos destacados para describir RL de en la Laguna de Términos. Sin embargo, debido a que en estos estudios no se

utilizó la herramienta metodológica por series de tiempo (PAV), la delimitación de las temporadas de RL entre esos estudios, comparativamente, suelen tener diferencias de hasta tres meses para reportar el inicio, el máximo y el final.

Flores-Coto *et al.* (2018) y Gómez-Ponce *et al.* (2018), implementaron nueve meses de muestreo (durante marzo y noviembre en 2010 y 2011), para informar que el ingreso de postlarvas a la Laguna de Términos ocurre durante la temporada de lluvias cuando TA es cálida en la boca de la laguna. Por otra parte, y con escasa evidencia obtenida en la temporada invernal, los autores mencionaron que durante el resto del año, el ingreso de postlarvas es menor durante la temporada invernal de octubre a mayo, cuando TA es fría en la boca de la laguna.

En el presente estudio, la falta de información sobre el ingreso de postlarvas invernal también estuvo presente (Tabla 4) aunque se realizó la reconstrucción de las series de tiempo D blanco y D rosado (a los tres niveles de profundidad), con los respectivos PAV no se pudo detectar actividad relevante de RL en la temporada invernal, por lo que resalta la importancia de realizar muestreos completos.

La delimitación de las temporadas de reclutamiento lagunar para *P. setiferus* y *P. duorarum* resultó consistente con una serie de estudios conducidos en el golfo de México y el Pacífico mexicano (Tabla 1). Con base en lo anterior, se confirma que en las poblaciones de camarón un evento reproductivo ocurre durante la temporada de lluvias. Sin embargo, las diferencias en cuanto al mes de máxima y mínima densidad de postlarvas puede deberse a:

- a) El período de muestreo, lo cual, la mayoría de trabajos varía de algunos meses hasta un año.
- b) La técnica de muestreo, dado que, las postlarvas pueden ingresar a la laguna a diferentes profundidades, dependiendo de temporalidad y las condiciones hidrológicas óptimas, en este trabajo se abarcó todo el perfil vertical y un período de tres años, abarcando así mayor variación en la

estratificación y la temporalidad. Incluso, Gómez-Ponce *et al.* (2018), sugiere que la variación del incremento de la densidad de postlarvas se debe al hecho de que una hembra puede reproducirse varias veces durante un año (García y Le Reste, 1986; Velázquez y Gracia, 2001).

- c) Además, del año en que se realizó el estudio, por la variación ambiental, e incluso a la presión pesquera como se desarrollará más adelante en la sección de reproducción.

Por otro lado, y en particular para la Laguna de Términos se tiene documentado que los juveniles permanecen de dos a cuatro meses dentro de ella (Gracia, 1992). Asimismo, se ha reportado el reclutamiento marino (RM) para la familia Penaeidae desde el mes de marzo hasta agosto (Gracia y Soto, 1990; Cervantes-Hernández, 1999; Wakida-Kusunoki *et al.*, 2006). Aunque para la costa de Campeche, los reportes anuales de SAGARPA-INAPESCA (2012) indican que el RM de *P. setiferus* es en julio (Figura 35). Mientras que en el complejo lagunar Carmen Pajonal - Machona (Tabasco) ocurre durante los meses de julio, septiembre y octubre (Núñez y Wakida-Kusunoki, 1999a, 1999b; Wakida-Kusunoki *et al.*, 2011). Al norte del golfo de México, en la Laguna Madre, el RM para *P. setiferus*, *P. duorarum* y *P. aztecus*, está documentado durante los meses de noviembre a marzo con juveniles de tallas mayores (Pérez-Castañeda *et al.*, 2012), mientras que los juveniles de menor talla se obtuvieron de abril a agosto así como en octubre (SAGARPA-INAPESCA, 2006; Pérez-Castañeda *et al.*, 2012; Cervantes-Hernández y Gracia, 2020).

Desde una perspectiva general, lo anterior indicó que antes de que inicie el RL, en el ambiente marino, los peneidos que habitan en las lagunas y estuarios costeros, inician su migración de regreso al ambiente marino (RM), alrededor de un mes antes de la entrada masiva de las postlarvas. Por lo cual, también es posible inferir la temporada del RL con base en la temporada del RM.

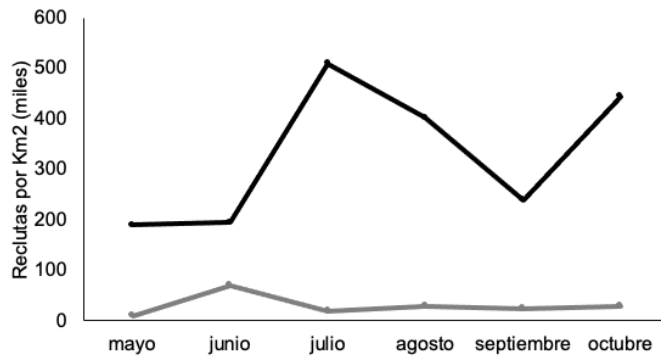


Figura 35. Reclutamiento promedio mensual del camarón blanco en la Sonda de Campeche a lo largo de las vedas de 1998 a 2002. Costa (línea negra); altamar (línea gris). Tomado y modificado de SAGARPA-INAPESCA (2012).

Los resultados presentados en este estudio sobre el comportamiento de las variables hidrológicas durante el período de RL, están considerados dentro del intervalo reportado por investigaciones anteriores, los cuales tienen una amplia variación de registros ($VC > 0.5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$; $TA = 20^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}$; $S = 2 \text{ ups} - 49 \text{ ups}$). Así mismo sucede con los registros previos sobre la relación entre la densidad de postlarvas y las variables hidrológicas, en donde algunos autores señalan relación directa y otros inversa, variando en ser o no significativo. Esto puede deberse al tipo de análisis y la manera de hacerlo, dado que estos pueden ser sensibles a los intervalos de valores en las variables analizadas de diferentes magnitudes, e inclusive por el período de tiempo analizado.

Como fue evidenciado en el presente estudio, todas las condiciones hidrológicas en la columna de agua se encontraron desfasadas entre sí (Figuras 26 - 29), y a su vez, con respecto a PAV D blanco y D rosado (Figura 21). Estos desfases impidieron establecer correlaciones múltiples confiables entre todos los PAV involucrados; de manera que, para mejorar este análisis, una temporada de reclutamiento lagunar se dividió en dos secciones. A diferencia de los resultados de correlación múltiple implementados aquí, en la literatura disponible no está considerado seccionar en dos a una temporada de RL, para explicar las

condiciones hidrológicas que ocurrieron durante los ascensos y descensos de la temporada de reclutamiento lagunar. Por esta razón, algunas condiciones hidrológicas reportadas en la literatura pueden coincidir o no con los análisis de correlación múltiple presentados aquí (Tablas 8 y 9).

Tomando en cuenta lo anterior, al analizar de forma separada los períodos donde se observó el aumento (tres meses) y el decremento (nueve meses) anual de las postlarvas, se pudo obtener una mejor interpretación de la relación entre la densidad de postlarvas y las variables hidrológicas, siendo todas estas significativas. En este sentido Flores-Coto *et al.* (2010) señalaron que solo obtuvieron valores significativos durante los meses donde se presentó una marcada diferencia en la densidad de postlarvas.

La relación entre las densidades de las postlarvas de camarón blanco y rosado y VC fue inversa (Tablas 8 y 9), contrario a lo esperado. Las migraciones de las postlarvas se presentan con el flujo de marea, por lo que es lógico que el mayor transporte debe ocurrir en el momento de marea más fuerte (Forward y Tankersley, 2001). Sin embargo, se ha descrito que las densidades más altas entran alrededor de 2 h después que ha iniciado el flujo de marea (Young y Carpenter, 1977; Rothlisberg *et al.*, 1995; Flores-Coto *et al.*, 2010, 2018). Con base en esto, los resultados confirman este comportamiento, dado que, al inicio del muestreo se presentó $VC = 0.5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, tiempo después aumenta a $0.7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ en donde ingresa la mayor densidad de postlarvas, el muestreo continua y aunque VC sigue aumentando hasta $1.33 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, sólo entran las postlarvas rezagadas, es decir, se obtienen registros de VC altas con densidades bajas, lo que ocasiona una relación inversa.

Se estableció una relación directa entre las densidades de las postlarvas de camarón blanco y rosado y TA (Tablas 8 y 9), esto puede deberse a que las temperaturas cálidas favorecen el desarrollo larvario. Sin embargo, la relación entre estas variables es lo opuesto a lo esperado, dado que se consideró que Df

tiende a bajar TA. Esto puede deberse a que durante el RL las Df aún no logran un volumen acumulado considerable para lograr influir en TA, como se observa en meses posteriores. TA durante la mayor densidad en el RL fue de 30.1°C, consistente con trabajos previos (Sánchez-Martínez, 1981; Kumlu *et al.*, 2000; Su y Feng, 2010; Bermudes-Lizárraga *et al.*, 2017; Flores-Coto *et al.*, 2018).

Así mismo, se registró que las densidades de las postlarvas de camarón *P. setiferus* y *P. duorarum* presentan una relación inversa (Tablas 8 y 9), concordando con lo esperado. La disminución de S en la Laguna de Términos y en otros sistemas estuarinos, es ocasionada por incremento gradual acumulado en Df (Boehlert y Mundy, 1988; Pham *et al.*, 2012). Durante la mayor densidad de postlarvas, S fue de 32.01 ups, similar a lo reportado como una S adecuada para el desarrollo de postlarvas (30 ups - 36 ups) (Kumlu *et al.*, 2000; Porchas-Cornejo *et al.*, 2000; Laramore *et al.*, 2001; Decamp *et al.*, 2003; Zacharia y Kakati, 2004; Bermudes-Lizárraga *et al.*, 2017). Estas variaciones se deben a que los camarones peneidos son organismos eurihalinos, que tienen la capacidad de sobrevivir en diferentes salinidades (Chong-Robles *et al.*, 2014). Por otro lado, Boehlert y Mundy (1988) y Pietrafesa y Janowitz (1988), señalan que S es utilizada como una señal o estímulo, para que las postlarvas inicien la migración hacia los cuerpos estuarinos.

Además, se demostró que existe una relación directa entre las densidades de postlarvas de camarón blanco y rosado y Df (Tablas 8 y 9), concordante con lo esperado en este estudio y con lo reportado por otros autores (Galindo-Bect *et al.*, 2000; Flores-Coto *et al.*, 2010, 2018; Gómez-Ponce *et al.*, 2018). El RL presentó un desfase de uno a dos meses con respecto a la lluvia acumulada y Df (Gracia y Soto, 1990; Cervantes-Hernández, 1999; Aragón-Noriega y García-Juárez, 2002). Df posiblemente tienen efectos positivos en el hábitat para las postlarvas al incrementar tanto la capacidad de carga por la adición de nutrientes (Gracia, 1997a), como en el incremento del área, y por lo tanto, el espacio para crecer; además que la turbidez aumenta, proporcionando protección (Ruello, 1973). No

obstante, Gracia (2001) indicó que los efectos pueden ser en el interior de las áreas de crianza y al ambiente marino, dependiendo de la intensidad y duración de las descargas fluviales y los niveles de tolerancia a la salinidad de las especies de camarón.

9.3 Simulación de la densidad de postlarvas

La predicción canónica tuvo como objetivo principal, analizar la variación original de las series de tiempo D blanco y D rosado en el período de 2010 - 2012, y realizar las respectivas prospecciones del 2013 - 2015 sin el uso de las series de tiempo de D blanco y D rosado. Cuando en la prospección canónica se evidencia la formación de ciclos naturales estacionales y repetitivos (sin la necesidad de ajustarlos a anomalías); entonces, se puede corroborar la estabilidad estacional en la delimitación de las temporadas de reclutamiento lagunar. El método de validación para los resultados del método CENSUS 1 fue implementado por primera vez en el presente trabajo y no se tienen antecedentes sobre de su anterior implementación.

El modelo de correlación canónica tomó en cuenta la relación entre las variables dependientes e independientes simultáneamente y fue más sensible que el modelo de correlación múltiple, dado que mostró el efecto de cada variable en el período de máximo reclutamiento lagunar, mientras que la correlación múltiple es influenciada al período estudiado.

A partir de lo anterior, resalta y corrobora que ingresan a la laguna:

- a) Primero las postlarvas de camarón blanco. El modelo predictivo indicó una relación directa con todas las variables hidrológicas, es decir al aumentar la velocidad de la corriente las postlarvas pudieron ingresar; en el momento de ingreso la temperatura del agua y salinidad eran altas y las descargas fluviales comenzaban a aumentar debido al inicio de la temporada de lluvias.

- b) Las segundas postlarvas fueron las del camarón rosado (aproximadamente 15 días después). El modelo predictivo mostró una relación directa con la velocidad de corriente, indicando que esta había aumentado, favoreciendo el ingreso de las postlarvas, de igual manera, se obtuvo relación directa con las descargas fluviales, debido a la temporada de lluvias. Mientras que, para la temperatura del agua y la salinidad mostró relación inversa como efecto de la acumulación de las descargas fluviales, a causa de que la temperatura del agua y la concentración de salinidad disminuyeron.

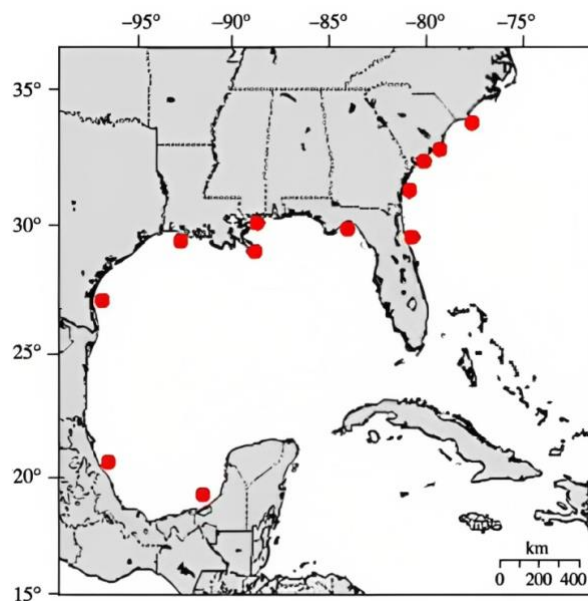


Figura 36. Presencia de *Penaeus setiferus* en el golfo de México y Atlántico. Tomado y modificado de Ball y Chapman (2003).

El ingreso de las postlarvas de *P. setiferus* a la laguna coincide con lo reportado en la bibliografía, quienes mencionan que las poblaciones adultas de camarón blanco, se encuentran y desovan cercanas a la costa (Soto y Gracia, 1987; Gracia, 1989b, 1997a), aproximadamente 3 km mar adentro a 14 m de profundidad (Renfro y Brusher, 1982; Ball y Chapman, 2003), en esta zona se reporta menor concentración de salinidad (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003) (Figura 36). En contraste, las poblaciones del camarón *P. duorarum* están lejanas a la costa,

en la plataforma exterior y más al noreste, a profundidades mayores (27 m) (Renfro y Brusher, 1982; SAGARPA-INAPESCA, 2014b), donde la concentración de salinidad es mayor (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003) (Figura 37).

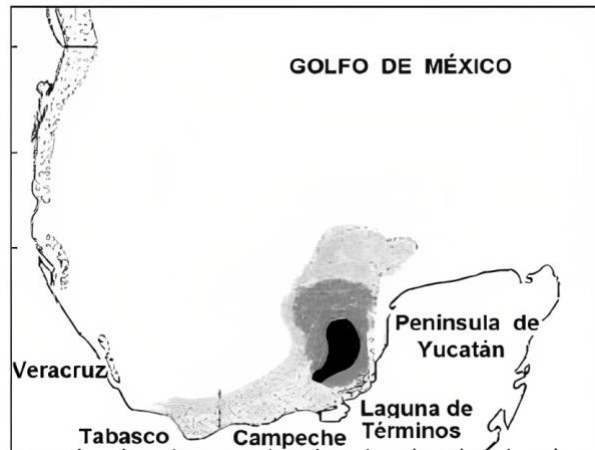


Figura 37. Distribución de *Penaeus duorarum* en el golfo de México. La intensidad de sombreado representa la mayor densidad de camarones. Tomado de SAGARPA-INAPESCA (2014b).

Por otro lado, dentro de la Laguna de Términos, Gracia y Soto (1990) reportaron que la distribución de los juveniles de camarón blanco se ubicó en la zona Oeste, esta zona presenta mayor descarga fluvial, menor concentración de salinidad y menor temperatura del agua. Mientras que, los juveniles de camarón rosado se establecieron en la zona Este, la cual tiene menor aporte de descarga fluvial, mayor concentración de salinidad y mayor temperatura del agua (Figura 38). Entonces, se infiere que las postlarvas de camarón blanco ingresan primero para establecerse en la zona Oeste de la laguna, en busca de sus condiciones óptimas de desarrollo y establecimiento en el área de crianza, y reducir así la presión de competencia directa por los recursos con las postlarvas de camarón rosado, las cuales se establecen en la zona Este de la laguna. Así mismo, las poblaciones de adultos de ambas especies, están distribuidas de manera que evitan la presión competitiva a nivel interespecífico.

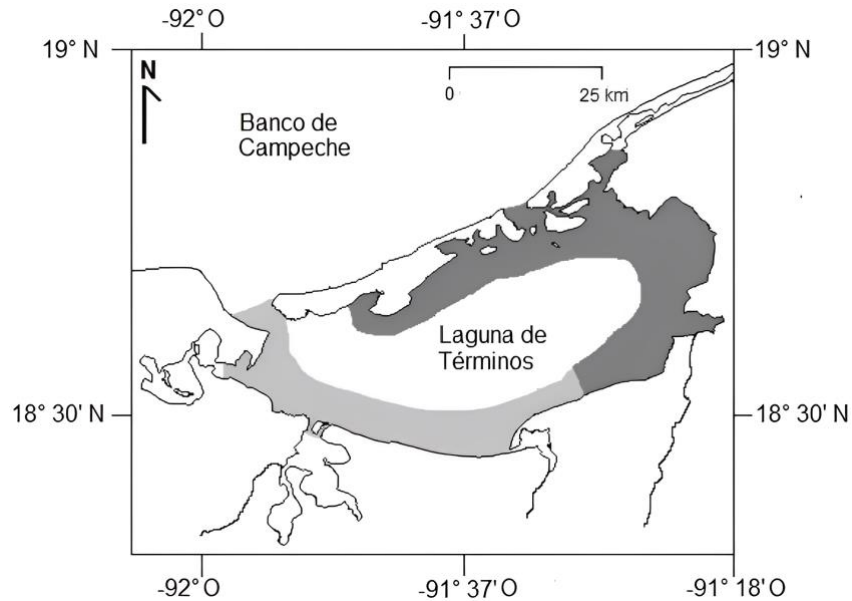


Figura 38. Distribución de los camarones blanco y rosado dentro de la Laguna de Términos. *P. setiferus* (gris claro), *P. duorarum* (gris oscuro). Modificado de Gracia y Soto (1990).

Con las densidades de postlarvas de cada especie y las preferencias hidrológicas, se logró un mejor ajuste de la capacidad predictiva del modelo, siendo viable para predecir. Las predicciones para ambas especies de 2013 - 2015, dieron cuotas de densidad esperada, pero además, mostraron las oscilaciones de dicha densidad, lo que genera nuevas formas de predecir y/o establecer el reclutamiento lagunar y confirma la hipótesis de que, la temporada de reclutamiento se mantiene a través del tiempo (Figuras 30 y 31).

En general, desde que comenzó la pesca del camarón en el golfo de México, la captura ha mostrado una tendencia negativa a través de los años (Figura 39 A). Esta también se ve reflejada en las predicciones de MCC para ambas especies (Figuras 30 y 31), las cuales muestran una ligera disminución anual en la densidad de postlarvas que ingresan a la laguna; comportamiento que es consistente con la captura anual en ambas especies (Figura 39 B).

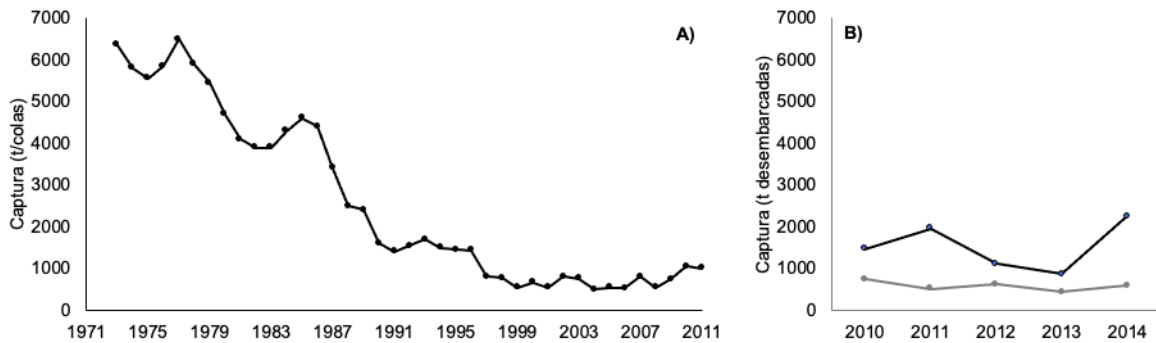


Figura 39. Captura anual de camarón en el golfo de México. A) Captura total de camarón (SAGARPA-INAPESCA, 2014b); B) Camarón blanco (línea gris), camarón rosado (línea negra), generado con base en los datos de captura (CONAPESCA, 2018).

Para el manejo de las pesquerías de interés comercial, es importante conocer la variación interanual de la densidad de reclutas y reproductores (Penn y Caputi, 1986). En el caso de las especies de camarón del golfo de México, diferentes autores han utilizado registros históricos de captura comercial para simular procesos de dinámica poblacional (e.g. mortalidad, reclutamiento y reproducción) (Gracia, 1989a, 1991; Solana-Sansores *et al.*, 1989; Solana-Sansores y Arreguín-Sánchez, 1993; Arreguín-Sánchez *et al.*, 1997). Al respecto, Ye (2000) señaló que esos procesos son difíciles de obtener, toda vez que son simulados exclusivamente con registros de captura comercial o captura por unidad de esfuerzo (CPUE). En éstas, no se considera la separación entre la captura correspondiente para reclutas y reproductores. El modelo generado en el presente estudio es relevante debido a que es posible cubrir ese vacío de información, al mostrar la estacionalidad del reclutamiento lagunar. Además, que éste considera el efecto de las variables ambientales y la denso-dependencia entre las especies.

9.4 Reproducción

Después de que las temporadas de reclutamiento lagunar fueron delimitadas en el presente trabajo (Figura 21) y al comparar con la Figura 32, se encontraron

inconsistencias con la literatura disponible, debido a que las temporadas de reclutamiento lagunar de *P. setiferus* y *P. duorarum* no ocurren cuando en la zona marina M1, las condiciones oceanográficas son de alta CI-a y fría TSM, es decir, con la reproducción invernal documentada a lo largo del golfo de México. Por lo anterior, se estableció que las temporadas de reclutamiento lagunar delimitadas durante la temporada de lluvias, no forman parte de la señal reproductiva invernal documentada en la literatura. Por esta razón se determinó que, las poblaciones de camarón en el golfo de México, además de reproducirse todo el año, tienen dos eventos importantes de reproducción. El primer evento reproductivo es durante la temporada de lluvias (Figura 21) y el segundo, es durante la temporada invernal (Figura 32).

La temporada de reproducción establecida en este estudio (Figura 32), es consistente con lo reportado por Gracia y Soto (1990) para *P. setiferus*, y con Cervantes-Hernández y Gracia (2011) para *P. duorarum*, quienes reportaron mayor abundancia y actividad de los reproductores en los meses de octubre a febrero en la plataforma del Banco de Campeche. Más al norte, en el zona Tamaulipas - Veracruz, la temporada de reproducción marina de *F. aztecus* es desde diciembre a principios de mayo, con la señal más alta en la abundancia de reproductores en febrero (Cervantes-Hernández, 2015).

Estos resultados fueron consistentes con otras poblaciones mexicanas de camarón para las que se utilizó la captura comercial clasificada por categorías de tamaño. En el caso de la población de *P. californiensis* en el golfo de Tehuantepec, la temporada de reproducción marina es de julio a febrero, con la señal más alta en la abundancia de reproductores durante octubre y noviembre (Cervantes-Hernández *et al.*, 2008b). En Quintana Roo, México, se reportó una mayor actividad reproductiva de *P. brasiliensis* durante octubre y noviembre (Sandoval-Quintero y Gracia, 1998). Todos los estudios sugieren que las poblaciones mexicanas de camarón del Pacífico y golfo de México tienen actividad reproductiva entre fines de otoño y durante el invierno. A nivel internacional en el

golfo de Ana María, Cuba, se reportó mayor actividad reproductiva de *P. notialis* (Marval-Rodríguez *et al.*, 2015) y *P. duorarum* (Giménez-Hurtado *et al.*, 2012) de septiembre a octubre.

En este estudio, la primera temporada reproductiva en el Banco de Campeche, ocurre entre el temporal de lluvia temprana y media (abril a agosto) por ende esta detonada por la influencia de Df (Cervantes-Hernández *et al.*, 2008b, 2012). La segunda ocurre desde principios de otoño - invierno (de octubre a diciembre) y es causada por el incremento en la concentración de Cl-a (Gracia, 1991; Cervantes-Hernández *et al.*, 2008b; Salmerón-García *et al.*, 2011; Cervantes-Hernández, 2015). Esta estrategia es utilizada por ambas especies de camarón, debido a que las condiciones ambientales generan un incremento en del aporte de nutrientes que a su vez genera mayor disponibilidad de alimento para el crecimiento y supervivencia de los organismos. El incremento en la concentración de Cl-a está asociado con los transportes marítimos causados por vientos fuertes de invierno (vientos Norte), de noviembre a enero, y un efecto contrario en verano, de mayo a junio (Roden, 1961; Romero-Centeno *et al.*, 2003).

Asimismo, en la primera temporada reproductiva, la densidad de reproductores de camarón debería generar una densidad menor de postlarvas, debido a que la concentración de Cl-a producida por Df es más baja (promedio $1.48 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en julio) que la regional producida en otoño - invierno (promedio $3.97 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en octubre). Por lo tanto, se debe tener en cuenta que las condiciones oceanográficas de otoño - invierno son mejores para estimular el desove de *P. setiferus* y *P. duorarum*. Aunado a esto, se han reportado postlarvas de mayor tamaño en abril-mayo y en octubre-noviembre, mientras que el tamaño disminuyó en julio-agosto, concordante con la disponibilidad de alimento (Alarcón-Daowz, 1986; Flores-Coto *et al.*, 2010, 2018).

En el golfo de México se registran niveles de Chl-a $> 1.0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ de noviembre a enero, y $< 1.0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ entre abril y octubre (período 1998-2008)

(Salmerón-García *et al.*, 2011), lo que es consistente con la Figura 32. Durante el invierno en el zona Tamaulipas - Veracruz, los valores de Chl-*a* oscilaron de 0.5 mg*m⁻³ a 1.0 mg*m⁻³ y TSM de 21°C a 24°C (Cervantes-Hernández, 2015). En comparación con el golfo de Tehuantepec, Cervantes-Hernández *et al.* (2008b) explicaron que *P. californiensis* se reproduce cuando las condiciones oceanográficas son con altos niveles de Cl-*a*, (~1.10 mg*m⁻³) y TSM (~26°C - 27°C).

Diversos trabajos verifican la existencia de dos picos reproductivos en el año pero en meses diferentes: abril-junio, agosto-septiembre y noviembre (García y Le Reste, 1986; Gracia, 1989a; Ré-Regis, 1996; Sandoval-Quintero y Gracia, 2002; Ramírez-Rodríguez y Arreguín-Sánchez, 2003). Por otro lado, hay autores que reportan sólo un pico reproductivo entre junio y agosto (Aragón-Noriega y García-Juárez, 2002; SAGARPA-INAPESCA, 2012).

Por otro lado, esta registrado una mayor densidad de reproductores de octubre hasta febrero, de *P. setiferus* en el sector del Banco de Campeche (Gracia y Soto, 1990), y *F. notialis* en la Península de Araya, Venezuela y el golfo de Ana María, Cuba (Giménez-Hurtado *et al.*, 2012; Marval-Rodríguez *et al.*, 2015). Similar a lo reportado para *P. duorarum* (Cervantes-Hernández y Gracia, 2011) y para *P. aztecus* en la Laguna Madre, sector Tamaulipas - Veracruz, México (Cervantes-Hernández, 2015; Cervantes-Hernández y Gracia, 2020) de octubre a abril.

Estas diferencias entre lo reportado en el presente estudio y la literatura, se deben a que, después de la implementación de la temporada de veda en todo el golfo de México en 1993, la temporada de pesca se estableció principalmente desde noviembre-octubre hasta mayo (SAGARPA-INAPESCA, 2012). Durante este tiempo, el esfuerzo de pesca reduce rápidamente los reproductores de camarón en el ambiente marino, como respuesta, la densidad de postlarvas de camarón disminuye bruscamente (Cervantes-Hernández y Gracia, 2011) (Figura

40, Anexo 16). Así, como una respuesta inmediata, la explotación merma la producción larvaria y el ingreso de las postlarvas a la Laguna de Términos se vuelve casi indetectable. Esto explica la ausencia de incremento en la densidad de postlarvas durante los meses de septiembre a marzo (Figura 21) (Puentes-Salazar *et al.*, 2020).

Cuando el sistema de vedas está implementado (temporada de lluvias), mayo a agosto con modificaciones hasta septiembre - octubre, ocurre lo contrario, el esfuerzo de pesca no afecta a la abundancia de los reproductores en el medio marino (Figura 40). Entonces, se incrementa la producción larvaria y el ingreso de las postlarvas a la Laguna de Términos se puede detectar sin problemas con el sistema de captura múltiple (Figura 21).

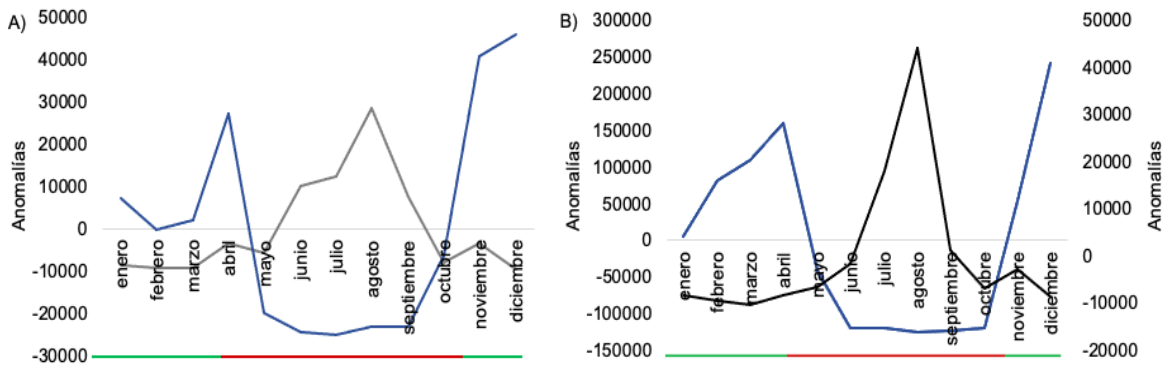


Figura 40. Comparación entre la oscilación anual de captura y la densidad de postlarvas de camarón blanco (A) y rosado (B). Captura (línea azul); densidad de postlarvas de camarón blanco (línea gris); densidad de postlarvas de camarón rosado (línea negra); temporada de pesca (línea verde); temporada de veda (línea roja). Registro de captura tomado de CONAPESCA (2018).

Así, en el Banco de Campeche, las temporadas de veda están implementadas a lo largo de la temporada reproductiva de lluvias (Figura 21) y la temporada invernal reproductiva está completamente desprotegida (Figura 32). Esto concuerda con lo reportado por Cervantes-Hernández *et al.* (2008b), en el

golfo de Tehuantepec, y por Cervantes-Hernández y Gracia (2011; 2020), en golfo de México, donde las condiciones oceanográficas invernales estimulan mejor el desove y la entrada de las postlarvas del camarón a los sistemas estuarinos, pero en ambos golfos, las temporadas invernales de reproducción no están consideradas para ser protegidas por sus respectivos sistemas de veda.

9.5 Temporada de veda

En el golfo de México, la pesquería de camarón comenzó en 1950 sin regulación alguna (cuota de captura ó veda) (Gracia, 1995). Esta pesquería tuvo su máximo de explotación en 1972 con producción record de 35 500 t (Gracia y Vázquez-Bader, 1999). Sin embargo, en las siguientes dos décadas se observó un decaimiento en la captura del camarón, obligando a la administración mexicana a tomar medidas regulatorias. Desde 1993 se implementó la Norma Oficial Mexicana: NOM-009-PESC-1993 para ordenar el aprovechamiento de las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal (SAGARPA, 1993). A partir de ese año, esta pesquería se reguló con la implementación de vedas temporales con duración de dos a seis meses, iniciando en abril o mayo (SAGARPA-INAPESCA, 2012). Actualmente los beneficios de esta regulación están documentados con niveles de captura total para *P. aztecus*, *P. setiferus* y *P. duorarum* de 12 076.51 t, equivalente al 34% del máximo reportado (CONAPESCA, 2018).

En el golfo de México, la especie de camarón más estudiada respecto a la explotación, los períodos de reproducción y de reclutamiento es *P. aztecus*; indicando que la población se encuentra sobre explotada (Zimmerman y Minello, 1984; Solana-Sansores *et al.*, 1989; Solana-Sansores y Arreguín-Sánchez, 1993; Ramírez-Rodríguez y Arreguín-Sánchez, 2000; Cervantes-Hernández, 2015). Por otra parte, Cervantes-Hernández y Gracia (2011, 2020) indicaron esta misma condición para el camarón rosado. Para la pesquería del camarón blanco, desde de 1993, no se tienen reportes del estado de explotación.

Por esta razón, en el presente estudio y con base en la simulación del reclutamiento lagunar, se debatió sobre la pertinencia de los sistemas de veda implementados en la Sonda de Campeche. Los resultados generados en la presente investigación y la discusión generada sobre las temporadas invernales de reproducción (Figuras 21 y 32), son suficiente para demostrar que éstas últimas no están consideradas para ser protegidas por los sistemas actuales de veda en el golfo de México. Esta tesis sugiere la modificación de la veda en el golfo de México en fechas de agosto a noviembre (Figura 34), para así proteger el reclutamiento generado en la cohorte de agosto y la reproducción de noviembre, esta modificación coincide con Cervantes-Hernández y Gracia (2020) y parcialmente con lo propuesto por Cervantes-Hernández *et al.* (2008a), quienes realizaron análisis de las temporadas de veda en la explotación marina de camarones del golfo de Tehuantepec, sugiriendo que esta sea modificada para ser establecida de julio a noviembre.

Por otra parte, el SAGARPA-INAPESCA (2012, 2014a) sugiere que es necesario complementar, la veda con estrategias efectivas para asegurar que se cumplan las prohibiciones para pescar en las áreas y períodos definidos. En la región de Isla del Carmen, Campeche, incluyendo la Laguna de Términos, donde la pesca de camarón está prohibida de manera permanente por ser considerada una de las áreas de crianza más importantes, permanece la pesca no autorizada de camarón blanco con redes de arrastre y con redes de deriva (SAGARPA-INAPESCA, 2012, 2014a).

La falsa idea de que los sistemas de veda cumplen con el objetivo para el que fueron implementadas ocurre por igual en el Pacífico mexicano. Cervantes-Hernández (2008) reportó mayor porcentaje de hembras maduras en fase IV de *F. californiensis* entre octubre a enero (invierno). Por otra parte, el menor porcentaje de hembras maduras en fase IV es de julio a septiembre (lluvias). La fase IV en camarones del género *Penaeus* se caracteriza por ovarios maduros de color oscuro y masa gonadal vacía (Sandoval-Quintero y Gracia, 1998).

Cuando las temporadas de veda aún no se implementaban en el golfo de México, el efecto de pesca sin limitación redujo la producción larvaria y a su vez, el ingreso de las postlarvas a la Laguna de Términos (4 143 postlarvas por 100 m⁻³ de *P. setiferus* y 817 postlarvas por 100 m⁻³ de *P. duorarum*) (Gracia y Soto, 1990). Después de la implementación de las vedas Flores-Coto *et al.* (2010) mencionaron que el ingreso de postlarvas a la Laguna de Términos incrementó (4 743 postlarvas por 100 m⁻³ de *P. setiferus* y 37 588 postlarvas por 100 m⁻³ de *P. duorarum*). Lo anterior no es evidencia suficiente para corroborar el funcionamiento correcto de los sistemas de veda, porque el ingreso de postlarvas sólo fue cuantificando en la temporada de lluvias, cuando el sistema de vedas está implementado. En contradicción a lo mencionado por Flores-Coto *et al.* (2018), informaron sobre bajas densidades de postlarvas ingresando al sistema estuarino (13 332 postlarvas 100 m⁻³ de *P. setiferus* y 2 198 postlarvas por 100 m⁻³ de *P. duorarum*).

Son abundantes las evidencias que corroboran que los sistemas de veda en el golfo de México están protegiendo la temporada reproductiva en lluvias en las poblaciones de *P. setiferus*, *P. duorarum* y *P. aztecus*; mientras que sus respectivas temporadas invernales de reproducción están completamente desprotegidas.

Se reveló que el sistema de veda implementado en el golfo de México no cumple con los objetivos históricos y recientes para los cuales fue diseñada. Es evidente que la protección sobre la primera temporada reproductiva ha ayudado en parte, a mantener la biomasa de las cohortes nacidas en la temporada de lluvias; no obstante, una vez que se abre la temporada de pesca, el esfuerzo pesquero causa la muerte de esas cohortes, impidiendo que lleguen a la primera madurez sexual (6 meses de edad). Adicionalmente, después de cada temporada de pesca, la población reproductora remanente es insuficiente para generar señales detectables del reclutamiento lagunar dentro de los sistemas estuarinos. Varias especies de camarones peneidos como *P. merguensis*, *P. semisulcatus*, *L.*

notialis y *L. setiferus* presentan situación similar, donde el principal reclutamiento es originado a partir de poblaciones reproductoras reducidas (Rothlisberg *et al.*, 1985; Mathews *et al.*, 1987; Lhome y García, 1984; Gracia, 1989a). Gracia (1996) indicó que las poblaciones de camarones peneidos pueden soportar niveles de explotación que reduzcan la población reproductora hasta en 20%, sin afectar seriamente el reclutamiento lagunar; por debajo de este límite se origina la sobrepesca del reclutamiento, que repercute en los niveles de la captura global de la pesquería.

La estrategia más adecuada para la protección de las pesquerías de camarón en el golfo de México, debe contemplar la protección de los adultos reproductores, considerando mantener un tamaño mínimo poblacional, que aseguren la continuidad de las siguientes generaciones y es evidente que, hasta ahora el nivel de adultos reproductores protegido en la primera temporada reproductiva (en lluvias), está lejos de ser un tamaño mínimo poblacional óptimo para la continuidad de la pesquería del recurso camarón. Sin embargo, es importante considerar la regulación del esfuerzo pesquero, tanto en alta mar como en los sistemas estuarinos del golfo de México, para no sobrepasar los límites durante las temporadas de pesca.

La regulación del esfuerzo pesquero en los sistemas estuarinos es un punto particularmente importante, ya que, de acuerdo a la estrategia reproductiva del camarón, la protección de los estados juveniles puede tener mayor influencia para incrementar la fecundidad poblacional, que tan solo la protección de la población reproductora remanente en alta mar (Gracia, 1995). Gracia y Vázquez-Bader (1997) sugieren que una estrategia de manejo basada en niveles de protección lagunar y marino (regulando el esfuerzo y sistemas de vedas), puede tener alto impacto en la conservación del recurso camarón y sobre el incremento de la producción pesquera. Sin embargo, para desarrollar una estrategia de este tipo, es necesario contar con mayor información acerca de la dinámica poblacional de las

especies de camarón y del esfuerzo pesquero en diferentes niveles de explotación.

La información generada en el presente estudio, puede ser base para proponer la separación regional de vedas en el golfo México, a partir de un planteamiento de vedas más acorde a los cambios estacionales de las postlarvas, los jóvenes reclutas y los adultos reproductores de todas las especies de camarón. Sin embargo, es necesario realizar más estudios que refuercen al presente, estudios biológicos complementarios como: stock-reclutamiento, metapoblaciones, mezcla dinámica, mortalidad, edad y crecimiento. Así como también, modelos de gestión socio-económica para conciliar los conflictos que el cambio en el sistema de vedas pueda ocasionar.

10 Conclusión

Las postlarvas de camarón blanco y rosado pueden entrar a la Laguna de Términos por toda la columna de agua, presentan una preferencia de entrada a la laguna por la media agua (4 m de profundidad), donde se encuentran las condiciones hidrológicas óptimas, las cuales son controladas por la variación hidrológica de la temporada de lluvias.

Las condiciones hidrológicas óptimas de ingreso para las postlarvas de camarón blanco fueron $VC = 0.76 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, $TA = 30.2^\circ\text{C}$, $S = 31.5 \text{ ups}$ y $Df = 337 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$; mientras que para el camarón rosado fue una $VC = 0.72 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, $TA = 30.5^\circ\text{C}$, $S = 32.7 \text{ ups}$ y $Df = 328 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Existen dos temporadas de reclutamiento lagunar: la primera de mayo a septiembre con un pico en agosto y la segunda de noviembre a enero con pico en noviembre. Así como dos temporadas de reproducción: la primera (lluvias) en el

período de abril-agosto con máximo en julio, y la segunda (invernal) en octubre-diciembre con máximo en octubre, la cual es considerada masiva.

El reclutamiento lagunar entre ambas especies de camarón tiene un desfase de aproximadamente 15 días, ingresando primeramente las postlarvas de *P. setifeus* y posteriormente las postlarvas de *P. duorarum*, evitando la competencia por el establecimiento en el área de crianza.

La temporada de reclutamiento lagunar es constante a través del tiempo, con oscilación de un mes, siendo corroborada por el modelo de correlación canónico con los siguientes sellos de garantía: $R_{cc} = 0.99$ y $R_{cc}^2 = 0.98$.

Las condiciones hidrológicas durante el período del reclutamiento lagunar son: un aumento en VC, TA y Df. Por el contrario, la salinidad disminuye. Esto es lo que modifica o controla el movimiento de las postlarvas en la columna de agua.

El actual sistema de vedas vigente para camarón en el Banco de Campeche (mayo a octubre), no protege a las temporadas reproductivas y en su lugar, fue implementado para proteger a las temporadas del reclutamiento lagunar. Para proteger a las temporadas reproductivas, se recomienda que el actual sistema de vedas sea re-implementado de agosto a noviembre; abarcando, el descenso del pico del reclutamiento lagunar y el ascenso de las temporadas de reproducción.

11 Referencias

- Acosta-de la Cruz, P. (2014). Estructura de tallas de postlarvas de camarón blanco *Litopenaeus setiferus* (Linnaeus, 1767) que ingresan a la Laguna de Términos por la Boca de Puerto Real durante los meses de marzo a noviembre del 2010. [Tesis profesional. Universidad Autónoma del Carmen].
- Aguilar-Sierra, A. V. (1985). Camarones peneidos de la Laguna de Términos, Campeche: composición, distribución y parámetros poblacionales. [Tesis profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional de la UNAM. https://repositorio.unam.mx/contenidos?c=n98Bpo&d=false&q=*&i=1&v=1&t=search_0&as=0
- Ahl, J. S. B. y Brown, J. J. (1990). Salt-dependent effects of juvenile hormone and related compounds in larvae of the brine shrimp, *Artemia*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 95 (4): 491 - 496.
- Alarcón-Daowz, G. (1986). Estratificación de las postlarvas planctónicas de camarones peneidos durante la inmigración a través de la boca de Puerto Real, Laguna de Términos. [Tesis profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional de la UNAM. https://repositorio.unam.mx/contenidos?c=B7PG5Z&d=false&q=*&i=1&v=1&t=search_0&as=0
- Alonzo-Ruíz, M. y López-Wilchis, R. (1975). Incidencia de postlarvas de camarones pertenecientes al género *Penaeus* en la Bahía de Campeche, México. [Tesis profesional, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Álvarez-Guillén, H., Yáñez-Arancibia, A. y Lara-Domínguez, A. L. (1985). Ecología de la boca del Carmen, Laguna De Términos, el hábitat y estructura de las comunidades de peces. *Instituto de Ciencias Del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México*, 12 (1): 107 - 144.

- Angulo, C. J., Mejía, A. y Engel, R. (2005). Cultivo experimental de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Panorama Acuícola*, 1 (1): 10 - 15.
- Aragón-Noriega, E. A. (2007). Coupling the reproductive period of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* Stimpson, 1874 (Decapoda: Penaeidae) and sea surface temperature in the Gulf of California. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 4 (2): 167 - 175.
- Aragón-Noriega, E. A. y García-Juárez, A. R. (2002). Reclutamiento de postlarvas de camarón azul *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1871) a condiciones antiestuarinas provocadas por actividades antropogénicas. *Hidrobiológica*, 12 (1): 37 - 46.
- Aragón-Noriega, E. A., Cervantes-Valle, C., García-Juarez, A. R. y Calderón-Aguilera, L. E. (1999). Distribución y abundancia de la población desovante de camarones del norte del Golfo de California durante el verano de 1996. *Ciencia y Mar*, 3 (9): 37 - 48.
- Arenas-Mendieta, R. y Yáñez-Martínez, A. (1981). Patrón anual de inmigración de postlarvas de camarón (Crustacea: Decápoda: Penaeidae), en la boca de Puerto Real, Laguna de Términos Campeche. [Tesis profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México].
- Arzola-González, J. F., Flores-Campaña, L. M., Izabal-Ceja, C. A. y Gutiérrez-Rubio, Y. (2008). Crecimiento de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en un estanque rústico a baja salinidad. *Revista Aquatic*, 28: 8 - 15.
- Arreguín-Sánchez, F. (2006). Pesquerías de México. En CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria) (Eds). *Pesca, Acuicultura e investigación en México*. Comisión de Pesca. Cámara de Diputados, LIX Legislatura/Congreso de la Unión. (pp. 13 - 36). México.
- Arreguín-Sánchez, F., Schultz-Ruiz, L., Gracia, A., Sánchez, J. y Alarcón, T. (1997). Estado actual y perspectivas de las pesquerías de camarón del golfo de México. En Flores Hernández, D., Sánchez-Gil, P., Seijo, J. C. y Arreguín-

- Sánchez, F. (Eds.). Análisis y diagnóstico de los recursos pesqueros críticos del golfo de México. EPOMEX Serie Científica 7. (pp. 145 - 172). México.
- Atwood, H. L., Young, S. P. y Tomasso, J. R. (2003). Survival and growth of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* postlarvae in low-salinity and mixed-salt environments. *Journal of the World Aquaculture Society*, 34: 518 - 523.
- Ball, A. O., y Chapman, R. W. (2003). Population genetic analysis of white shrimp, *Litopenaeus setiferus*, using microsatellite genetic markers. *Molecular Ecology*, 12: 2319 - 2330.
- Bermudes-Lizárraga, J., Nieves-Soto, M., Medina-Jasso, M. A., Román-Reyes, J. C., Flores-Campaña, L. M., Ortega-Salas A. A. y Piña-Valdez, P. (2017). Efecto de la temperatura y salinidad en el crecimiento larval de *Litopenaeus vannamei*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52 (3): 611 - 615.
- Bessonov, N., González, O. y Elizarov, A. (1971). Resultados de las investigaciones cubano soviéticas en el Banco de Campeche. En Coloquio sobre investifaciones y recursos del Mar Caribe y regiones adyacentes. UNESCO (pp. 317 - 323). París.
- Beverton R, J. y Holt, S. J. (1954). On the dynamics of exploited fish populations. Chapman y Hall, New York. En Calvo-Gómez, F. 1993. Técnicas estadísticas multivariantes; con resolución de ejercicios prácticos mediante los paquetes estadísticos SPSS y PROGSTAD. Bilbao, España.
- Boehlert, G. W. y Mundy, B. C. (1988). Roles of behavioral and physical factors in larval and juvenile fish recruitment to estuarine nursery areas. En Weinstein M. P. (Ed.). Larval fish and shellfish transport through inlets. American Fisheries Society Symposium 3 (pp. 51 - 67). Bethesda, Maryland.
- Bray, W. A, Lawrence, A. L. y Leung-Trujillo, J. R. (1994). The effect of salinity on growth and survival of *Litopenaeus vannamei*, with observations on the interaction of IHVN virus and salinity. *Aquaculture*, 122: 133 - 146.
- Calvo-Gómez, F. (1993). Técnicas estadísticas multivariantes; con resolución de ejercicios prácticos mediante los paquetes estadísticos SPSS y PROGSTAD. Universidad de Deusto, Bilbao. España.

- Cervantes-Hernández, P. (1999). Relaciones stock-reclutamiento del camarón *Farfantepenaeus duorarum* en el Banco de Campeche. [Tesis de Maestría, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional de la UNAM. <http://132.248.9.195/pd1999/274584/274584.pdf>
- Cervantes-Hernández, P. (2007). Un modelo para corregir la predicción canónica. *Ciencia y Mar*, 11 (31): 39 - 44.
- Cervantes-Hernández, P. (2008). Method to obtain indices of abundance in the population of brown shrimp from the Gulf of Tehuantepec, Oaxaca, Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 43 (1): 111 - 119.
- Cervantes-Hernández, P. (2015). Modelación de las fluctuaciones de la abundancia del camarón café *Farfantepenaeus aztecus* (Ives, 1891). [Tesis Doctoral, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional de la UNAM. <http://132.248.9.195/ptd2015/marzo/0727265/0727265.pdf>
- Cervantes-Hernández, P. y Gracia, A. (2011). Análisis de la mortalidad para el camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* (Decapoda, Dendrobranchiata) del Banco de Campeche, México. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 6 (2): 100 - 108.
- Cervantes-Hernández, P. y Gracia, A. (2020). Reproductive and recruitment seasons for *Penaeus aztecus* in the Tamaulipas-Veracruz area, Gulf of México. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 48 (4): 578 - 589.
- Cervantes-Hernández, P. y Manzano-Sarabia, M. (2015). Procesamiento y análisis satelital, Windows Image Manager. Mazatlán, México: Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Cervantes-Hernández, P., Ramos-Cruz, S., y Gracia-Gasca, A. (2006). Evaluación del estado de la pesquería de camarón en el Golfo de Tehuantepec. *Hidrobiológica*, 16 (3): 233 - 239.
- Cervantes-Hernández, P., Gallardo-Berumen, M. I., Ramos-Cruz, S., Gómez-Ponce, M. A. y Gracia, A. (2008a). Análisis de las temporadas de veda en la

- explotación marina de camarones del golfo de Tehuantepec, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 43 (2): 285 - 294.
- Cervantes-Hernández, P., Sánchez-Meraz, B. J., Serrano-Guzmán, S., Frías-Velasco, A., Ramos-Cruz, S. y Gracia, A. (2008b). Variación interanual de la abundancia de *Farfantepenaeus californiensis* Holmes, 1900 en el golfo de Tehuantepec. *Hidrobiológica*, 18 (3): 215 - 226.
- Cervantes-Hernández, P., Gómez-Ponce, M. A. y Torres-Hernández, P. (2012). Marine and lagoon recruitment of *Litopenaeus vannamei* Boone, 1931 (Decapoda: Penaeidae) in the “Cabeza de Toro-La Joya Buenavista” Lagoon System, Chiapas, México. *CICIMAR Oceánides*, 27 (2): 51 - 58.
- Cervantes-Hernández, P., Gómez-Ponce, M. A., Puentes-Salazar, A., Castrejón-Rodríguez, U. y Gallardo-Berumen, M. I. (2016). Variabilidad espacial de la captura ribereña de camarón en el Sistema Lagunar Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas, México. *Hidrobiológica*, 26 (1): 15 - 26.
- Cervantes-Hernández, P., Torres-Hernández, P. y Gómez-Ponce, M. A. (2017). Recruitment Age of *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) (Decapoda: Penaeidae) in the Cabeza De Toro-La Joya Buenavista Lagoon System, Oaxaca-Chiapas, México. *Open Journal of Marine Science*, 7: 511 - 525.
- Chen, J. C., Lin, M. N., Ting, Y. Y. y Lin, J. N. (1995). Survival, haemolymph osmolality and tissue water of *Penaeus chinensis* juveniles acclimated to different salinity and temperature levels. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 110 (3): 253 - 258.
- Chong-Robles, J., Charmantier, G., Boulo, V., Lizárraga-Valdéz, J., Enríquez Paredes L. M. y Giffard-Mena, I. (2014). Osmoregulation pattern and salinity tolerance of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) during post-embryonic development. *Aquaculture*, 422: 261 - 267.
- Churchill, B. G. (2001). Fishery production and Mississippi river discharge. *Marine Fisheries*, 26 (8): 17 - 26.
- Comisión Nacional de Pesca (CONAPESCA). (2018 Junio). Base de datos. <https://acuasesor.conapesca.gob.mx/anuario.php>

- Criales, M. M., Wang, J., Browder, J. A. y Robblee, M. B. (2005). Tidal and seasonal effects on transport of pink shrimp postlarvae. *Marine Ecology Progress Series*, 286: 231 - 238.
- Criales, M. M., Wang, J. D., Browder, A. J., Robblee, B. M., Jackson, L. T. y Cardenas, H. (2006). Variability in supply and cross-shelf transport of pink shrimp (*Farfantepenaeus duorarum*) postlarvae into western Florida Bay. *Fishery Bulletin*, 104: 60 - 74.
- Criales, M. M., Browder, J. A., Mooers, C. N. K., Robblee, M. B., Cardenas, H. y Jackson, T. L. (2007). Cross-shelf transport of pink shrimp larvae, interaction of tidal currents, larval vertical migrations and internal tides. *Marine Ecology Progress Series*, 345: 167 - 184.
- Criales, M. M., Robblee, M. B., Browder, J. A., Cardenas, H. y Jackson, T. L. (2011). Field Observations on Selective Tidal-Stream Transport for Postlarval and Juvenile Pink Shrimp in Florida Bay. *Journal of Crustacean Biology*, 31: 26 - 33.
- Cushing, D. H. (1975). *Marine ecology and fisheries*. Cambridge University press.
- Dakin, W. J. (1938). The habits and life-history of a penaeid prawn (*Penaeus plebejus* Hess). *Proceedings of the Zoological Society of London*, (108): 163 - 183.
- Dall, W., Hill, B. J., Rothlisberg, P. C. y Sharples, D. J. (1990). *The Biology of the Penaeidae*. *Advances in Marina Biology*. Academic Press. San Diego.
- Dallas, E. J. (2002). *Métodos multivariados aplicados al análisis de datos*. International Thompson. London.
- Day, J. W., Day, R. H., Barreiro, M. T., Ley-Lou, F. y Maddem, C. J. (1982). Primary production in the Laguna de Términos, a tropical estuary in the southern Gulf of México. *Oceanológica Acta*, 5 (4) 269 - 280.
- Decamp, O., Cody, J., Conquest, L., Delanoy, G. y Tacon, A. G. (2003). Effect of salinity on natural community and production of *Litopenaeus vannamei* (Boone), within experimental zero-water exchange culture systems. *Aquaculture Research*, 34: 345 - 355.

- Dronkers, J. (1988). Inshore/Offshore Water Exchange in Shallow Coastal Systems. Coastal-Offshore Ecosystem Interactions. Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies, vol 22. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-52452-3_1
- Eldred, B., Ingle, M., Woodburn, K. D., Hutton, R. F. y Jones, H. (1961). Biological observations on the commercial shrimp *Penaeus duorarum* Burkenroad in Florida waters. Professional Papers Series, Florida State Board of Conservation, Marine Laboratory. (pp. 31-139). St Petersburg.
- Espinal-González, J. C. (2002). Caracterización del transporte de sedimentos en las bocas del Carmen y Puerto Real en la Laguna de Términos. [Tesis de Maestría en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional de la UNAM. <http://132.248.9.195/pdtestdf/0312991/0312991.pdf>
- Fernández-Álamo, M. A., Sanvicente-Añorve, L. y Alameda-de La Mora, G. (2000). Copepod assemblages in the Gulf of Tehuantepec, México. *Crustaceana*, 73 (9): 1139 - 1153.
- Flores-Coto, C. y Pérez-Argudín, M. (1991). Efecto de la marea en el paso de larvas de Scianidos (pisces) en la boca del Carmen, Laguna de Campeche. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limniología. Universidad Nacional Autónoma de México*. 18, 1: 25 - 35.
- Flores-Coto, C. y Zavala-García, F. (1994). Abundancia y distribución de larvas de Bregmacerotidae (Pisces) en la Bahía de Campeche, México. *Ciencias Marinas*, 20 (2): 219 - 241.
- Flores-Coto, C., Becerril-Martínez, J. A., Zavala-García, F., Gracia, A. y Burke, J. S. (2010). Inmigración de larvas de camarón durante el período de mayor velocidad de flujo de marea en el sur del golfo de México. *Hidrobiológica*, 20 (1): 1 - 12.
- Flores-Coto, C., Embriz-Alba, D., Gómez-Ponce, M. A., López-Martínez, J. y Sanvicente-Añorve, L. (2018). Immigration of Post Larvae of Penaeid Shrimp to Términos Lagoon, Campeche, México: 2013 Annual Cycle. *Open Journal of Marine Science*, 8: 522 - 535.

- Forward, Jr., R. B. y Tankersley, R. A. (2001). Selective tidal stream transport of marine animals. *Oceanography and Marine Biology. An Annual Review*, 39: 305 - 353.
- Forward, Jr., R. B., Tankersley, R. A. y Rittschof, D. (2001). Cues for metamorphosis of brachyuran crabs: an overview. *American Zoologist*, 41 (5): 1108 - 1122.
- Fuss, C. M. y Ogren, L. H. (1966). Factors affecting activity and burrowing habits of the pink shrimp, *Penaeus duorarum* Burkenroad. *Biological Bulletin of the Marine Biological Laboratory Woods Hole, Mass*, 130: 170 - 191.
- Galindo-Bect, M. S., Glenn, E. P., Page, H. M., Fitzsimmons, K. L., Galindo-Bect, A., Hernández-Ayon, J. M., Petty, R. L., Garcia-Hernández, J. y Moore, D. (2000). Penaeid shrimp landings in the upper Gulf of California in relation to Colorado River freshwater discharge. *Fishery Bulletin*, 98 (1): 222 - 225.
- Galindo-Bect, M. S., Page, H. M., Petty, R. L., Hernández-Ayón, J. M., Aragón-Noriega, E. A., y Bustos-Serrano, H. (2007). Variación temporal en la abundancia de postlarvas y juveniles de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) y camarón café (*Farfantepenaeus californiensis*) en el estuario del Río Colorado. *Ciencias Marinas*, 33 (3): 247 - 258.
- García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (Adaptaciones a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- García-del Real, R. (1990). Abundancia y distribución de las fases estuarinas del camarón rosado *Penaeus (Farfantepenaeus) duorarum* Burkenroad, 1939 en el área de Puerto Real, Laguna de Términos, Campeche. [Tesis profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional de la UNAM. <http://132.248.9.195/pmig2017/0115842/0115842.pdf>
- García, S. y Le Reste, L. (1986). Ciclos vitales, dinámica, explotación y ordenación de las poblaciones de camarones peneidos costeros. FAO documento técnico de pesca. 203: 180. <https://www.fao.org/3/ad015s/AD015S00.htm>

- Gierloff-Emden, H. G. (1977). Orbital remote sensing of coastal and offshore environments, a manual of interpretation. Walter de Gruyter Verlag, Berlin-New York.
- Giménez-Hurtado, E., Alzugaray-Martínez, R., Garcés-Rodríguez, Y., Delgado-Miranda G. y Ventura-Flores, A. (2012). Reclutamiento del camarón rosado *Fafantepenaeus notialis* (Decapoda: Penaeidae) en el golfo de Ana María, Cuba. Serie Oceanológica, 10: 77 - 89.
- Gómez-Ponce, M. A. (2013). Patrones de ingreso de las postlarvas planctónicas de camarón blanco y rosado de la Laguna de Términos, Campeche, México. III Simposium sobre el Conocimiento de los Recursos Costeros del Sureste del México, Universidad Autónoma de Yucatán. http://www.sisal.unam.mx/recorecos/RED/TERCER_Simposium_files/Libro%20de%20Resumenes.pdf
- Gómez-Ponce, M. A. (2019). Patrones de inmigración, asentamiento de postlarvas y colonización de juveniles de camarones peneidos a estructuras artificiales de vegetación sumergida en la Boca de Puerto Real, Laguna de Términos Campeche, México. [Tesis Doctoral. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco].
- Gómez-Ponce, M. A. y Gracia, A. (2003). Distribution and abundance of larvae and adults of *Solenocera* (Decapoda, Solenoceridae) in the southwestern gulf of México. *Crustaceana*, 76 (6): 681 - 698.
- Gómez-Ponce, M. A., Flores-Coto, C., López-Martínez, J., Cruz-Sánchez, J. L. y Sanvicente-Añorve, L. (2018). Evaluation of the entry of white shrimp postlarvae (Decapoda: Penaeidae) to a nursery area in the southern gulf of México. Recruitment of postlarvae shrimp in the Términos Lagoon, gulf of México. *Latin American Journal Aquatic Research*, 46 (1): 166 - 175.
- Gracia, A. (1989a). Relationship between environmental factors and white shrimp abundance in the southwestern gulf of México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*. 14: 171 - 182.

- Gracia, A. (1989b). Ecología y biología del camarón blanco *Penaeus setiferus* (Linnaeus, 1767) en la Laguna de Términos-Sonda de Campeche. [Tesis de Doctorado en Ciencias (Biología). Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional de la UNAM. <http://132.248.9.195/ppt1997/0097538/0097538.pdf>
- Gracia, A. (1991). Spawning stock-recruitment relationship of white shrimp in the southwestern gulf of México. *Transactions of the American Fisheries Society*, 120: 519 - 527.
- Gracia, A. (1992). Explotación y manejo del recurso camarón. *Ciencia y desarrollo*, 18 (106): 82 - 95.
- Gracia, A. (1995). Impacto de la pesca artesanal sobre la producción del camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* (Burkenroad, 1939). *Ciencias Marinas*, 21 (3): 343 - 359.
- Gracia, A. (1996). White shrimp (*Penaeus setiferus*) recruitment overfishing. *Marine and Freshwater Research*, 47: 59 - 65.
- Gracia, A. (1997a). Pesquería artesanal de camarón. En Flores Hernández, D., Sánchez-Gil, P., Seijo, J. C. y Arreguín-Sánchez, F. (Eds.). Análisis y diagnóstico de los recursos pesqueros críticos del golfo de México. EPOMEX Serie Científica 7. (pp. 173 - 184). México.
- Gracia, A. (1997b). Simulated and actual effects of the brown shrimp, *Penaeus aztecus*, closure in Mexico. *Marine and Freshwater Research*, 59 (2): 18 - 24.
- Gracia, A. (2001). Efecto del el Niño sobre la producción de camarón. En Escobar, E., Bonilla, M., Badán, A., Caballero, M. y Winckell, A. (Eds.). Los efectos del fenómeno del Niño en México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (pp. 112 - 119). México.
- Gracia, A. y Soto, L. (1990). Populations study of the Penaeid shrimp of Términos Lagoon, Campeche, México. *Anales del instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 17 (2): 241 - 255.
- Gracia, A. y Vázquez-Bader, A. R. (1997). The effects of artisanal fisheries on penaeid shrimp stocks in the Gulf of México. En Funk, F., Quinn II, T. J., Heifetz, J., Ianelli, J. N., Powers, J. E., Schweigert, J. F., Sullivan, P. J. y

- Zhang, C. I. (Eds). Proceedings of the International Symposium Fishery Stock Assessment Models for the 21st Century. University of Alaska, Sea Grant College, Juneau. (pp. 127 - 144). Alaska.
- Gracia, A. y Vázquez-Bader, A. R. (1999). Shrimp fisheries in the south Gulf of México. present and future management alternatives. En Kumpf, H., Steidinger, D. y Sherman, K. (Eds.). The Gulf of México large marine ecosystem: Assessment, sustainability, and management. Blackwell Science. (pp. 205 - 234). Berlín.
- Gracia, A., Vázquez-Bader, A. R., Arreguín-Sánchez, F., Schultz-Ruiz, L. E. y Sánchez, J. A. (1997). Ecología de camarones peneidos. En Flores Hernández, D., Sánchez-Gil, P., Seijo, J. C. y Arreguín-Sánchez, F. (Eds.). Análisis y diagnóstico de los recursos pesqueros críticos del golfo de México. EPOMEX Serie Científica 7. (pp. 127 - 144). México.
- Graham, D. S., Daniels, J. P., Hill, J. M. y Day Jr., J. W. (1981). A Preliminary model of the circulation of Términos Lagoon, Campeche, México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México, 8 (1): 51 - 62.
- Grijalva-Chon, J. M., y Barraza-Guardado, R. H. (1992). Distribución y abundancia de las postlarvas y juveniles de los camarones del genero *Penaeus* en Bahía Kino y laguna La Cruz, Sonora, México. Ciencias Marinas, 18 (3): 153 - 169.
- Gutiérrez-Estrada, M. y Castro-Del Río, A. (1988). Origen y desarrollo geológico de la Laguna de Términos. En Yáñez-Arancibia A. y Day Jr., J. M. (Eds.). Ecología de los ecosistemas costeros en el sur de golfo de México: La región de la Laguna de Términos. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. (pp. 89 - 110). México.
- Hair, F., Anderson, J., Tatham, L. y Black, C. (1999). Multivariate data analysis. Prentice Hall, New Jersey.
- Haykin, S. (1999). Neural networks: A comprehensive foundation. 2nd Edition. Prentice-Hall. New Jersey.
- Hettler, W. F. (1992). Correlation of winter temperature and landings of pink shrimp *Penaeus duorarum* in North Carolina. Fishery Bulletin, 90: 405 - 406.

- Hughes, D. A. (1969). Responses to salinity change as a tidal transport mechanism of pink shrimp, *Penaeus duorarum*. Biological Bulletin, Marine Biological Laboratory, Woods Hole, Mass, (136): 43 - 53.
- Jaime, B., Galindo, J., Laria, E., Cupul, F. y Vega, F. (2008). Traslado de postlarvas de *Litopenaeus vannamei* a diferentes tiempos, salinidades y densidades y su efecto en la supervivencia y algunos marcadores bioquímicos. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 43: 681 - 686.
- Joyce, E. A. (1965). The commercial shrimps of the north east coast of Florida. Professional Papers Series. Florida Board of Conservation Marine Laboratory, St Petersburg, 6: 2 - 224.
- Kingsford, M. J. y Suthers, I. M. (1996). The Influence of Tidal Phase on Patterns of Ichthyoplankton Abundance in the Vicinity of an Estuarine Front, Botany Bay, Australia. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 43 (1): 33 - 54.
- Kjerfve, B. K., Magill, E. y Sneed, J. E. (1988). Modelo de circulación y dispersión de la Laguna de Términos. En Yáñez-Arancibia, A. y Day, J. W. (Eds.) Ecología de los ecosistemas costeros en el sureste del golfo de México: La región de la Laguna de Términos. (pp. 111 - 132). México.
- Klima, E. (1989). Approaches to research and management of US fisheries for penaeid shrimp in the Gulf of Mexico. En Caddy, F. (Ed.). Marine invertebrate fisheries: their assessment and management. (pp. 281 - 306). New York.
- Kuc-Castilla, A. G., Posada-Vanegas, G. y Vega-Serratos, B. E. (2015). Evaluación hidrodinámica de la laguna de Términos. En Ramos-Miranda, J. y Villalobos-Zapata, G. J. (Eds.). Aspectos socioambientales de la región de la Laguna de Términos. (pp. 145 - 166). Campeche, México.
- Kumlu, M., Eroldogan, O. T. y Aktas, M. (2000). Effects of temperature and salinity on larval growth, survival and development of *Penaeus semisulcatus*. Aquaculture, 188: 167 - 173.
- Kuttyamma, V. J. (1981). The temperature tolerance of some penaeid prawns. Bulletin of the Department of Marine Science, (12): 29 - 39.

- Laramore, S., Laramore, C. R. y Scarpa, J. (2001). Effect of low salinity on growth and survival of postlarvae and juvenile *Litopenaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 32 (4): 385 - 392.
- Lhome, F. y García, S. (1984). Biologie et exploitation de la crevette pénaeide au Sénégal. En Gulland, J. A. y Rothschild, B. J. (Eds.). *Penaeids shrimps-their biology and management*. (pp. 11 - 144). Farnham.
- Madrid-Vera, J., Chávez-Herrera, D., Melchor-Aragón, J., Meraz-Sánchez, R., y Rodríguez-Preciado, J. A. (2012). Management for the White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) from the Southeastern Gulf of California through Biomass Models Analysis. *Open Journal of Marine Science*, 2: 8 - 15.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. y McGee, V. (1983). *Forecasting: methods and applications*. New York: Wiley.
- Mancilla, M. y Vargas, M. (1980). Los primeros estudios sobre la circulación y el flujo neto de agua a través de la Laguna de Términos, Campeche, México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. 7 (2): 1 - 12.
- Martínez, C. L., Villareal, C. L. y Poncha, C. M. (1996). Culture of white shrimp *Penaeus vannamei* without food in a discharge lagoon of a shrimp faro. *Journal of the World Aquaculture Society*, 27 (4): 1 - 2.
- Marval-Rodríguez, A., Altuve, D., Ramírez, I., Alió, J., Gómez, G., Cedeño, K., Martínez, F. y Ortiz, L. (2015). Crecimiento y mortalidad de *Farfantepenaeus notialis* en la costa norte de la Península de Araya, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 33 (3): 193 - 205.
- Mathews, C. P., Al-Hossaini, M., Abdul-Ghaffar, A. R. y Al-Shousani, M. (1987). Assessment of short-lived stocks with special reference to Kuwait's shrimp fisheries: a contrast of the results obtained from traditional and recent size-based techniques. En Pauly, D. y Morgan, G. R. (Eds.). *Length based Methods*, ICLARM Conference Proceedings. (pp. 147 - 166). Manila, Philipines.
- MathWorks Inc. (2017, Agosto). *The MathWorks*. 3 Apple Hill Drive. Natick, Massachusetts. <https://es.mathworks.com/>

- McVey, J. P. y Fox, J. M. (1984). Hatchery techniques for penaeid shrimp utilized by Texas A&M-NMFS Galveston Laboratory program.
- Medina-Reyna, C. E., Morales-Pacheco, O., y Salinas-Orta, H. T. (1998). El reclutamiento de las postlarvas de camarón blanco (*Penaeus vannamei*) en el Golfo de Tehuantepec: Una revisión. *Ciencia y Mar*, 5: 33 - 44.
- Meraz-Sánchez, R., Madrid-Vera, J., Cisneros-Mata, M. A., y Chávez-Herrera, D. (2013). An Approach to Assessment to Population of the Brown Shrimp, *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900), as a Management Fisheries Tool in the Southeastern Gulf of California. *Open Journal of Marine Science*, 3: 40 - 47.
- Morán-García, D. K. (2005). Estimación de los tiempos de residencia en la Laguna de Términos, Campeche. [Tesis Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional de la UNAM. http://132.248.9.195/ptb2005/01159/0343190/0343190_A1.pdf
- Morrison, D. (1967). *Multivariate statistical methods*. McGraw-Hill. New York.
- Núñez-Márquez, G. y Wakida-Kusunoki, A. T. (1999a). Evaluación del efecto de la veda de 1999 sobre la población y la pesca de camarón blanco en Campeche y Tabasco. Primera parte (mayo-agosto). En (SAGARPA-INAPESCA). (2012). *Fundamento técnico para el establecimiento de vedas para la pesca de camarón en el golfo de México y Mar Caribe*. Dictamen técnico. Instituto Nacional de la Pesca (Eds). (pp. 1 - 47). México.
- Núñez Márquez, G. y Wakida-Kusunoki, A. T. (1999b). Evaluación del efecto de la veda de 1999 sobre la población y la pesca de camarón blanco en Campeche y Tabasco. Segunda parte (septiembre-noviembre). En (SAGARPA-INAPESCA). (2012). *Fundamento técnico para el establecimiento de vedas para la pesca de camarón en el golfo de México y Mar Caribe*. Dictamen técnico. Instituto Nacional de la Pesca (Eds). (pp. 1 - 47). México.
- Ogburn, M., Criales, M. M., Thompsom, R. T. y Browder, J. A. (2013). Endogenous swimming activity rhythms of postlarvae and juveniles of the penaeid shrimp *Farfantepenaeus aztecus*, *Farfantepenaeus duorarum*, and *Litopenaeus*

- setiferus*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 440: 149 - 155.
- Ogle, J. T., Beaugez, K. y Lotz, J. M. (1992). Effect of salinity of survival and growth of postlarval *Penaeus vannamei*. Gulf Research Report, 8: 415 - 421.
- Ordoñez, E. (1936). Principal physiographic provinces of México. American Association Petroleum Geologists Society of America Bulletin, 20: 1277 - 1307.
- Páez-Osuna, F. (2001). Camaronicultura y medio ambiente. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Autónoma de México. Ciudad de México.
- Pedersen, S. A. y Storm, L. (2002). Northern Shrimp (*Pandalus borealis*) Recruitment in West Greenland Waters Part I. Distribution of *Pandalus* Shrimp Larvae in Relation to Hydrography and Plankton. Journal of Northwest Atlantic Fishery Science, 30: 19 - 46.
- Penn, J. W. y Caputi, N. (1986). Spawning stock-recruitment relationships and environmental influences on the tiger prawn *Penaeus esculentus* fishery in Exmouth Gulf, Western Australia. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 37: 491 - 505.
- Pérez-Castañeda R., Vázquez-Sauceda, M., Sánchez-Martínez, J. G. y González-Saldaña, J. A. (2012). Estructura poblacional de camarones peneidos explotados en dos zonas pesqueras de la Laguna Madre, Tamaulipas. Ciencia y Mar, 16 (48): 25 - 30.
- Pham, D., Charmantier, G., Wabete, N., Boulo, V., Broutoi, F., Mailliez, J., Peignon, J. y Charmantier-Daures, M. (2012). Salinity tolerance, ontogeny of osmoregulation and zootechnical improvement in the larval rearing of the Caledonian Blue Shrimp, *Litopenaeus stylirostris* (Decapoda, Penaeidae). Aquaculture, 362-363: 10 - 17.
- Phleger, F. B. y Ayala-Castañares, A. (1971). Processes and history of Términos Lagoon, México. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 55 (2): 2130 - 2140.
- Pietrafesa, L. J. y Janowitz, G. S. (1988). Physical oceanographic processes affecting larval transport around and through North Carolina inlets. En

- Weinstein, M. P. (Eds.). Larval fish and shellfish transport through inlets. American Fisheries Society Symposium. (pp. 34 - 50). Maryland.
- Porchas-Cornejo, M. A., Martínez-Córdova, L. R., Naranjo-Páramo, J., Magallón-Barajas, F., Portillo-Clark, G. y Unzueta-Bustamante, M. L. (2000). Efecto de la salinidad en la larvicultura de camarón café *Farfantepenaeus californiensis* (holmes, 1900) a bajas temperaturas. *Ciencias Marinas*, 26 (3): 503 - 510.
- Puentes-Salazar, A., Cervantes-Hernández, P. y Gómez-Ponce, M. A. (2020). The seasonal entrance of *Penaeus setiferus* and *Penaeus duorarum* postlarvae into Términos Lagoon, Campeche, México. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 48 (2): 237 - 246.
- Queiroga, H. y Blanton, J. O. (2005). Interactions between behavior and physical forcing in the control of horizontal transport of decapod crustacean larvae. *Advances in Marine Biology*, 47: 107 - 214.
- Ramírez-Rodríguez, E. M. (2002). Impacto de las vedas en la pesquería del camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* en la Sonda de Campeche, México. [Tesis Doctoral, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio. <https://repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/15366/1/ramirezro2.pdf>
- Ramírez-Rodríguez, M. (2015). La pesquería de camarón en Campeche: Desarrollo histórico y perspectiva. *Ciencia Pesquera*, 23 (1): 73 - 87.
- Ramírez-Rodríguez, M. y Arreguín-Sánchez, F. (2000). Growth of pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum* (Burkenroad 1939) in Campeche Sound, México. *Crustaceana*, 73 (10): 1263 - 1272.
- Ramírez-Rodríguez, M. y Arreguín-Sánchez, F. (2003). Spawning stock recruitment relationship of pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum* in the southern Gulf of México. *Bulletin of Marine Science*, 72 (1): 123 - 133.
- Ramírez-Rodríguez, M., Arreguín-Sánchez, F. y Lluch-Belda, D. (2003). Recruitment patterns of the pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum* in the southern Gulf of México. *Fisheries Research*, 65: 81 - 88.

- Ramos-Cruz, S. (2009). Tallas, sexo y desarrollo gonádico de *Litopenaeus vannamei* (Crustacea: Decapoda: Penaeidae), durante la veda de 1999 en el Golfo de Tehuantepec, México. *Ciencia Pesquera*, 17 (2): 29 - 39.
- Ramos-Cruz, S., y Ramos-Santiago, E. (2006). Abundancia relativa de postlarvas de camarones peneidos en la bahía Salinas del Marqués, Golfo de Tehuantepec, México. Marzo a Junio de 1999. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 41 (1): 121 - 128.
- Re, A. D., Díaz-Herrera, F., Sierra-Uribe, E. y Gómez-Jiménez, S. (2004). Consumo de oxígeno, excreción de amonio y capacidad osmorreguladora de *Litopenaeus stylirostris* expuesto a diferentes combinaciones de temperatura y salinidad. *Ciencias Marinas*, 30 (3): 443 - 453.
- Ré-Regis, C. (1996). Estacionalidad de la reproducción del camarón blanco *Penaeus setiferus* en la Sonda de Campeche. INP-SEMARNAP. *Ciencia pesquera*, (12): 25 - 40.
- Renfro, W. C. y Brusher, H. A. (1982). Seasonal abundance, size, distribution and spawning of three shrimps (*Penaeus aztecus*, *P. setiferus*, *P. duorarum*) in the Northwestern Gulf of México, 1961-1962. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFC-94. Library NOAA.
<https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/5548>
- Reynolds, W. W. y Casterlin, M. E. (1979). Thermoregulatory behaviour of the pink shrimp *Penaeus duorarum* Burkenroad. *Hydrobiologia*, 67 (2): 179 - 182.
- Richards, S. A, Possingham, H. P. y Noye, B. J. (1995). Larval dispersion along a straight coast with tidal currents: complex distribution patterns from a simple model. *Marine Ecology Progress Series*, 122: 59 - 71.
- Ricker, W. (1954). Stock and recruitment. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 11: 559 - 623.
- Ringo, R. y Zamora, G. (1968). A penaeid postlarval character of taxonomic value. *Bulletin of Marine Science*, 18: 471 - 474.
- Roden, G. I. (1961). Sobre la circulación producida por el viento en el golfo de Tehuantepec y sus efectos sobre las temperaturas superficiales. *Geofísica Internacional*, 3: 55 - 72.

- Rogers, B. D., Shaw, R. F., Herke, W. H. y Blanchet, R. H. (1993). Recruitment of Postlarval and Juvenile Brown Shrimp (*Penaeus aztecus* Ives) from Offshore to Estuarine Waters of the Northwestern gulf of México. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 36: 377 - 394.
- Romero-Centeno, R., Zavala-Hidalgo, J., Gallegos, A. y O'Brien, J. J. (2003). Isthmus of Tehuantepec wind climatology and ENSO signal. *Journal of Climate*, 16: 2628 - 2639.
- Rothlisberg, P. C., Staples, D. J. y Crocos, P. J. (1985). A review of the life history of the banana prawn, *Penaeus merguianus* in the Gulf of Carpentaria. En Rothlisberg, P. C., Hill, B. J. y Staples, D. J. (Eds.). *Second National Prawn Seminar*. (pp. 125 - 136). Cleveland, Australia.
- Rothlisberg, P. C., Church, J. A. y Fandry, C. B. (1995). A Mechanism for Near-Shore Concentration and Estuarine Recruitment of Post-Larval *Penaeus plebejus* Hess (Decapoda, Penaeidae). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 40: 115 - 138.
- Rosas, C., LePriol, Y., Cuzon, G., Gaxiola, G., Pascual, C., Taboada, G. y VanWormhoudt, A. (2001). Metabolism and growth of juveniles of *Litopenaeus vannamei*: effect of salinity and dietary carbohydrates levels. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology*, 259:1 - 22.
- Ruello, N. V. (1973). The influence of rainfall on the distribution and abundance of the school prawn *Metapenaeus macleayi* in the Hunter River region (Australia). *Marine Biology*, 23: 221 - 228.
- Salas, H. G. (2003). Crecimiento y sobrevivencia del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) a diferentes salinidades. [Tesis profesional, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. México].
- Salmerón-García, O., Zavala-Hidalgo, J., Mateos-Jasso, A. y Romero-Centeno, R. (2011). Regionalization of the gulf of México from space-time chlorophyll-a concentration variability. *Ocean Dynamics*, 61: 439 - 448.
- Sánchez-Martínez, A. (1981). Comportamiento anual de las postlarvas epibénticas de camarones peneidos en el sector oriental de la Laguna de Términos,

- Campeche. [Tesis profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México].
- Sánchez-Meraz, B. (2005). Respuestas del reclutamiento del camarón café (*Farfantepenaeus californiensis* Holmes, 1900) a la variación interanual de la temperatura superficial del mar en el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca. [Tesis de Maestría, Universidad del Mar, Puerto Ángel, Oaxaca, México].
- Sánchez-Meraz, B., y Martínez-Vega, J. A. (2000). Inmigración de Postlarvas de Camarón *Litopenaeus sp* y *Farfantepenaeus sp*. a través la Boca El Oro del Sistema Lagunar Corralero-Alotengo, Oaxaca. *Ciencia y Mar*, 4 (12): 29 - 46.
- Sandoval-Quintero, M. E. y Gracia, A. (1998). Stages of gonadal development in the spotted pink shrimp *Penaeus brasiliensis*. *Journal of Crustacean Biology*, 18 (4): 610 - 685.
- Sandoval-Quintero, M. A. y Gracia, A. (2002). Reproduction of the spotted pink shrimp, *Farfantepenaeus brasiliensis* (Decapoda: Penaeidae). *Journal of Shellfish Research*, 21 (2): 835 - 842.
- Santos, J. y Uribe-Martinez, J. A. (1997). Composición y abundancia de camarón rosado en aguas estuarino-costeras de Champotón e Isla Arena, Campeche durante 1994. CRIP Lerma-Campeche, Informe Técnico del Instituto Nacional de la Pesca.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (1993). Norma Oficial Mexicana NOM-002-PESC-1993 para ordenar el aprovechamiento de las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación. México. En: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5288724&fecha=22/02/2013
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-009-PESC-1993 que establece el procedimiento para determinar las épocas y zonas de veda para la captura de las diferentes especies de la flora y fauna acuáticas, en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la

Federación. México.
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4675437&fecha=04/03/1994#:~:text=NORMA%20Oficial%20Mexicana%20NOM%2D009,de%20los%20Estados%20Unidos%20Mexicanos.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) - Comisión Nacional de Pesca (CONAPESCA). (2011 Junio). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Instituto Nacional de Pesca (SAGARPA-INAPESCA). (2006). Fundamento técnico para el establecimiento de vedas a la pesca de camarón en el golfo de México y Mar Caribe. Dictamen Técnico. Instituto Nacional de Pesca (Eds). (pp. 1 - 35). México.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Instituto Nacional de Pesca (SAGARPA-INAPESCA). (2010). Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5169418&fecha=02/12/2010#:~:text=La%20Carta%20Nacional%20Pesquera%20es,evaluaci%C3%B3n%20integral%20de%20la%20actividad

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Instituto Nacional de Pesca (SAGARPA-INAPESCA). (2012). Fundamento técnico para el establecimiento de vedas para la pesca de camarón en el golfo de México y Mar Caribe. Dictamen técnico. Instituto Nacional de la Pesca (Eds). (pp. 1 - 47). México.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Instituto Nacional de Pesca (SAGARPA-INAPESCA). (2014a). Fundamento técnico para el establecimiento de vedas para la pesca de camarón en el golfo de México y Mar Caribe. https://www.researchgate.net/publication/280654454_FUNDAMENTO_TECNI

CO_PARA_EL_ESTABLECIMIENTO_DE_VEDAS_PARA_LA_PESCA_DE_
CAMARON_EN_EL_GOLFO_DE_MEXICO_Y_MAR_CARIBE_2014

- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación – Instituto Nacional de Pesca (SAGARPA-INAPESCA). (2014b). Plan de manejo pesquero de camarón café (*Farfantepenaeus aztecus*) y camarón blanco (*Litopenaeus setiferus*) en las costas de Tamaulipas y Veracruz. Diario Oficial de la Federación. http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5336631
- Sharon, L. (1999). Muestreo, diseño y análisis. Thompson. México.
- Sheridan, P. (1996). Forecasting the fishery for pink shrimp, *Penaeus duorarum*, on the Tortugas grounds, Florida. Fishery Bulletin, 94: 743 - 755.
- Solana-Sansores, R. y Arreguín-Sánchez, F. (1993). Cambios estacionales de la abundancia del camarón café (*Penaeus aztecus*) de la zona noroccidental del golfo de México y su relación con parámetros ambientales. Ciencias Marinas, 19 (2): 155 - 168.
- Solana-Sansores, R., Arreguín-Sánchez, F., Castro, R. y Medellín, M. (1989). Exploración de técnicas multivariadas para uso en el estudio de la dinámica poblacional de especies sujetas a explotación pesquera: el caso del camarón café (*Penaeus aztecus* Lves, 1891) del noroeste del golfo de México. Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 28 (2): 245 - 252.
- Soto, L. A. y Gracia, A. (1987). Evaluación de los efectos de hidrocarburos fósiles sobre las poblaciones de camarones peneidos en el Banco de Campeche. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Autónoma de México. 14: 133 - 146. <http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1987-2/articulo270.html>
- Sowers, A. D., Tomasso, J., Browdy, R. y Atwood, H. L. (2006). Production characteristics of *Litopenaeus vannamei* in low-salinity water augmented with mixed salts. Journal of the World Aquaculture Society, 37 (2): 214 - 217.
- Staples, D. J., y Heales, D. S. (1991). Temperature and salinity optima for growth and survival of juvenile banana prawns *Penaeus merguensis*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 154 (2): 251 - 274.

- StatSoft Inc. (2004). Statistics (Sistema de software de análisis de datos). Tulsa, Oklahoma. <https://www.statistica.com/en/>
- Su, Y. S. M. y Feng, C. (2010). Effects of salinity fluctuation on the growth and energy budget of juvenile *Litopenaeus vannamei* at different temperatures. *Journal of Crustacean Biology*, 30 (3): 430 - 434.
- Valenzuela, W., Rodríguez, G. y Esparza, H. (2010). Cultivo intensivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en agua de pozo de baja salinidad como alternativa acuícola para zonas de alta marginación. *Ra Ximbai*, 6 (1): 1 - 8.
- Vargas-Albores, F., Hinojosa-Baltazar, P., Portillo-Clark, G. y Magallon-Barajas, F. (1998). Influence of temperature and salinity on the yellowleg shrimp, *Penaeus californiensis* Holmes, prophenoloxidase system. *Aquaculture Research*, 29 (5): 49 - 53.
- Velázquez, M. P. y Gracia, A. (2001). Fecundity of *Litopenaeus setiferus*, *Farfantepenaeus aztecus*, and *F. duorarum*, in the Southwestern Gulf of México. *Gulf and Caribbean Research*, 12 (1): 1 - 9.
- Vera-Herrera, F., Rojas-Galaviz, J. L. y Yáñez-Arancibia, A. (1988). Pantanos dulceacuícolas influenciados por la marea en la región de Laguna de Términos: Estructura ecológica del sistema fluvio-deltaíco del río Palizada. (pp. 383 - 402). Tabasco.
- Wakida-Kusunoki, A. T., González-Cruz, A., Medellín, M., Hernández-Tabares, I., Pech-Pat, A., Núñez-Márquez, G., Uribe-Martínez, J. y Sandoval, M. (2006). Fundamento técnico para el establecimiento de vedas a la pesca de camarón en el golfo de México y Mar Caribe (Dictamen Técnico). SAGARPA-INP (pp. 1 - 35). México.
- Wakida-Kusunoki, A. T., Carrillo-Alejandro, P., Quiroga-Brahms, C., Galindo-Cortez, G., Izquierdo, A., Barabata, J., De la Rosa, J., Rangel-Arteaga, B. y Pantoja-González, L. (2011). Pesquería y dinámica poblacional de los camarones peneidos comerciales en el complejo lagunar Carmen-Pajonal-Machona. Segunda Reunión Nacional de Investigación e Innovación Acuícola y Pesquera. León, Guanajuato. En (SAGARPA-INAPESCA). (2012). Fundamento técnico para el establecimiento de vedas para la pesca de

- camarón en el golfo de México y Mar Caribe. Dictamen técnico. Instituto Nacional de la Pesca (Eds). (pp. 1 - 47). México.
- Wenner, L. E., Knott, D. T., Barans, A. C., Wilde, S., Blanton, J. O. y Amft, J. (2005). Key factors influencing transport of white shrimp (*Litopenaeus setiferus*) postlarvae into the Ossabaw Sound system, Georgia, United State of American. *Fisheries Oceanography*, 14 (3): 175 - 194.
- White, T. F. (1975). Factor saffecting catchability of a penaeid shrimp *Penaeus culentus*. En Young, P. C. (Eds.). *First Australian National Prawn Seminar*. (pp. 115 - 137). Canberra.
- Wickham, D. A. (1967). Observation on the activity patterns in juveniles of the pink shrimp *Penaeus duorarum*. *Bulletin of Marine Science*, 17 (4): 769 - 786.
- Williams, A. B. (1965). *Marine decapod Crustaceans of the Carolinas*. United States Fish and Wildlife. *Senlice Fishery Bulletin*, 65 (1): 1 - 298.
- Williams, A. B. y Deubler, E. (1968). A ten year study of meroplankton in North Carolina estuaries: assessment of environmental factors and sampling success among both flounders and penaeid shrimp. *Chesapeake Science*, 9 (1): 27 - 41.
- Yáñez-Arancibia, A. (1986). *Ecología de la zona costera, análisis de siete tópicos.*: A. G. T. (Eds.). (pp. 1 - 198). México.
- Yáñez-Arancibia, A., y Day, J. W. (1982). Ecological characterization of Términos lagoon, a tropical lagoon-estuarine system in the southern Gulf of México. En Lasserre, P. y Postma, H. (Eds.) *Coastal Lagoons*. (pp. 431 - 440). México.
- Yáñez-Arancibia, A. y Day, J. W. (1988). *Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del golfo de México: La región de la Laguna de Términos*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://biblioteca.ecosur.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=000007303>
- Yáñez-Arancibia, A., Lara-Domínguez, A. L. y Sánchez-Gil, P. (1991). Bocas estuarinas, unidades ecológicas en la zona costera. *JAINA*. 2: 3.
- Ye, Y. (2000). Is recruitment related to spawning stock in penaeid shrimp fisheries. *Journal of Marine Science*, 57: 1103 - 1109.

- Ye, L., Jiang, S., Zhu, X., Yang, Q., Wen, W. y Wu, K. (2009). Effects of salinity on growth and energy budget of juvenile *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 290: 140 - 144.
- Young, P. C. y Carpenter, S. M. (1977). Recruitment of postlarval penaeid prawns to nursery areas in Moreton Bay, Queensland. *Australian Journal of Marine and Fresh Water Research*, 28 (6): 745 - 773.
- Zacharia, S. y Kakati, V. S. (2004). Optimal salinity and temperature for early developmental stages of *Penaeus merguensis* De man. *Aquaculture*, 232: 373 - 382.
- Zavala-Hidalgo, J., Morey, S. L. y O'Brien, J. J. (2003). Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of México using a high-resolution numerical model. *Journal of Geophysical Research*, 108 (12): 3389.
- Zar, H. J. (1999). *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall, New Jersey.
- Zetina-Rejón, M. J. (2004). Efectos de la pesca en ecosistemas interdependientes: Laguna de Términos y Sonda de Campeche, México. [Tesis de Doctorado en Ciencias Marinas, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional]. México. Repositorio Digital IPN. <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/14359>
- Zijlstra, J. J. (1988). Fish migrations between coastal and offshore areas. En Jansson, B.O. (Eds.). *Coastal-Offshore Ecosystem Interactions, Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies*. (pp. 257 - 272). Germany, Springer-Verlag.
- Zimmerman, R. y Minello, J. (1984). Densities of *Penaeus aztecus*, *Penaeus setiferus*, and other natant macrofauna in Texas SALT marsh. *Estuaries*, 7 (4a): 421 - 433.

12 Anexos

Anexo 1. Registro mensual de la densidad postlarval y las variables hidrológicas por profundidad. Meses reconstruidos (*); velocidad de corriente (VC); temperatura del agua (TA); salinidad (S); descarga fluvial (Df).

Año	Mes	Profundidad	D blanco	D rosado	VC	TA	S	Df
2010	Enero *	Superficie	19.60	70.27	1.02	24.44	33.68	293.62
	Enero *	Media agua	25.74	139.32	0.98	24.24	34.09	293.62
	Enero *	Fondo	12.76	4871.19	0.94	24.04	34.49	293.62
	Febrero *	Superficie	14.73	47.24	0.90	23.83	34.90	213.05
	Febrero *	Media agua	24.97	89.39	0.86	23.63	35.31	213.05
	Febrero *	Fondo	13.38	2441.16	0.82	23.43	35.72	213.05
	Marzo	Superficie	9.86	24.22	0.78	23.23	36.13	219.33
	Marzo	Media agua	24.20	39.47	0.97	23.23	36.16	219.33
	Marzo	Fondo	13.99	11.14	1.33	23.23	36.17	219.33
	Abril	Superficie	1189.40	299.45	0.87	27.28	36.59	240.07
	Abril	Media agua	3696.16	395.40	0.64	27.26	36.61	240.07
	Abril	Fondo	1471.09	372.61	1.30	27.27	36.60	240.07
	Mayo	Superficie	3106.17	3442.11	0.73	30.30	36.48	233.40
	Mayo	Media agua	2123.96	1410.71	0.88	30.33	36.47	233.40
	Mayo	Fondo	2158.26	1413.68	1.21	30.34	36.47	233.40
	Junio	Superficie	16021.13	5949.73	0.61	31.21	36.52	247.41
	Junio	Media agua	13473.64	4272.89	0.87	31.16	36.49	247.41
	Junio	Fondo	9089.55	2935.48	1.19	31.14	36.46	247.41
	Julio	Superficie	12405.26	10093.31	0.48	30.06	30.11	306.69
	Julio	Media agua	12372.85	8749.79	0.59	30.10	30.09	306.69
	Julio	Fondo	9861.08	10116.50	1.24	30.33	30.01	306.69
	Agosto	Superficie	12611.74	11510.19	0.55	29.23	32.08	332.59
	Agosto	Media agua	9725.12	9470.39	0.66	29.09	32.56	332.59
	Agosto	Fondo	10698.40	10161.47	0.94	29.00	32.82	332.59
	Septiembre	Superficie	18720.08	10967.21	0.42	29.87	21.09	329.60
	Septiembre	Media agua	8852.34	5822.20	0.95	29.85	22.62	329.60
	Septiembre	Fondo	4044.64	3595.25	1.33	29.55	24.67	329.60
	Octubre	Superficie	174.34	103.16	0.84	28.63	24.05	328.54
	Octubre	Media agua	228.26	176.05	0.79	29.13	25.66	328.54
	Octubre	Fondo	351.84	351.48	1.26	28.00	27.29	328.54
	Noviembre	Superficie	212.59	204.17	0.62	25.66	24.08	305.64
	Noviembre	Media agua	1490.65	1306.38	0.68	25.72	25.54	305.64
Noviembre	Fondo	1680.33	780.30	1.17	25.77	27.37	305.64	
Diciembre *	Superficie	182.19	173.32	1.12	25.79	28.16	250.77	
Diciembre *	Media agua	1141.64	996.16	1.06	25.82	28.95	250.77	
Diciembre *	Fondo	1278.46	623.58	1.01	25.84	29.74	250.77	

Continuación

Anexo 1. Registro mensual de la densidad postlarval y las variables hidrológicas por profundidad. Meses reconstruidos (*); velocidad de corriente (VC); temperatura del agua (TA); salinidad (S); descarga fluvial (Df).

Año	Mes	Profundidad	D	D	VC	TA	S	Df
			Blanco	Rosado				
2011	Enero *	Superficie	151.79	142.47	0.96	25.86	30.53	210.25
	Enero *	Media agua	792.63	685.95	0.90	25.89	31.32	210.25
	Enero *	Fondo	876.59	466.86	0.85	25.91	32.11	210.25
	Febrero *	Superficie	121.39	111.62	0.80	25.93	32.90	193.41
	Febrero *	Media agua	443.62	375.74	0.74	25.95	33.70	193.41
	Febrero *	Fondo	474.71	310.14	0.69	25.98	34.49	193.41
	Marzo	Superficie	90.99	80.77	0.64	26.00	35.28	185.70
	Marzo	Media agua	94.61	65.52	0.78	26.00	35.39	185.70
	Marzo	Fondo	72.84	153.42	1.08	26.00	35.30	185.70
	Abril	Superficie	162.60	220.70	0.67	27.99	35.65	190.44
	Abril	Media agua	185.74	241.34	0.67	28.03	35.57	190.44
	Abril	Fondo	102.78	119.93	0.84	28.10	35.55	190.44
	Mayo	Superficie	156.03	58.46	0.55	29.71	36.98	221.99
	Mayo	Media agua	167.21	13.23	0.70	29.73	36.98	221.99
	Mayo	Fondo	266.64	148.18	1.35	29.74	37.02	221.99
	Junio	Superficie	11412.95	7842.33	0.70	29.69	37.85	278.89
	Junio	Media agua	8321.84	2932.59	0.81	29.67	37.85	278.89
	Junio	Fondo	4286.36	1662.69	1.11	29.67	37.85	278.89
	Julio	Superficie	6073.94	14741.36	0.57	29.36	34.85	343.34
	Julio	Media agua	7247.21	16262.46	0.79	29.34	34.88	343.34
	Julio	Fondo	10617.89	23833.84	0.84	29.33	34.89	343.34
	Agosto	Superficie	11398.83	20774.25	0.52	31.97	31.83	389.40
	Agosto	Media agua	39961.19	68121.98	0.71	31.91	31.70	389.40
	Agosto	Fondo	9740.32	16949.72	1.19	31.92	31.66	389.40
	Septiembre	Superficie	3133.16	2655.44	0.57	30.80	31.02	412.87
	Septiembre	Media agua	6940.57	4934.01	0.74	30.79	30.99	412.87
	Septiembre	Fondo	4107.34	3492.43	1.20	30.83	30.45	412.87
	Octubre	Superficie	1666.61	828.04	0.17	27.78	26.06	385.22
	Octubre	Media agua	1924.58	944.19	0.49	27.76	26.54	385.22
	Octubre	Fondo	119.09	71.05	0.98	27.74	27.34	385.22
	Noviembre	Superficie	1198.04	1153.81	0.22	27.27	27.10	325.69
	Noviembre	Media agua	12914.54	11631.77	0.36	27.11	27.46	325.69
Noviembre	Fondo	1191.44	569.30	1.30	27.10	28.94	325.69	
Diciembre	Superficie	146.10	155.93	0.68	24.87	32.63	277.28	
Diciembre	Media agua	0.00	17.13	0.41	24.86	32.85	277.28	
Diciembre	Fondo	2.02	146.96	1.03	24.85	33.29	277.28	

Continuación

Anexo 1. Registro mensual de la densidad postlarval y las variables hidrológicas por profundidad. Meses reconstruidos (*); velocidad de corriente (VC); temperatura del agua (TA); salinidad (S); descarga fluvial (Df).

Año	Mes	Profundidad	D	D	VC	TA	S	Df
			blanco	Rosado				
2012	Enero	Superficie	68.86	22.40	0.89	25.09	33.25	237.59
	Enero	Media agua	1664.04	2589.66	0.89	25.11	33.48	237.59
	Enero	Fondo	94.27	111.27	0.89	25.51	33.73	237.59
	Febrero	Superficie	67.82	169.04	1.02	25.80	32.06	201.61
	Febrero	Media agua	192.56	319.45	1.02	25.91	32.25	201.61
	Febrero	Fondo	117.38	236.32	1.02	25.96	32.38	201.61
	Marzo	Superficie	169.66	84.10	0.88	27.30	36.25	186.59
	Marzo	Media agua	155.34	79.42	0.88	27.35	36.31	186.59
	Marzo	Fondo	224.89	175.44	0.88	27.40	36.56	186.59
	Abril	Superficie	1930.44	656.93	0.67	27.67	36.13	188.49
	Abril	Media agua	5137.79	2020.25	0.67	28.15	36.17	188.49
	Abril	Fondo	4143.57	1527.89	0.67	27.80	36.04	188.49
	Mayo	Superficie	1842.84	2471.75	0.66	29.50	36.37	210.32
	Mayo	Media agua	1870.14	2509.70	0.66	29.55	36.44	210.32
	Mayo	Fondo	312.07	1073.16	0.66	29.63	36.41	210.32
	Junio	Superficie	1091.75	1923.35	0.72	30.51	35.86	254.07
	Junio	Media agua	253.78	446.97	0.72	30.55	35.89	254.07
	Junio	Fondo	503.12	556.19	0.72	30.60	35.85	254.07
	Julio	Superficie	4561.85	1598.61	0.84	29.74	34.18	314.65
	Julio	Media agua	1765.57	677.61	0.84	29.73	34.23	314.65
	Julio	Fondo	806.85	277.25	0.84	29.75	34.19	314.65
	Agosto	Superficie	12288.27	11465.90	0.85	29.63	31.44	360.92
	Agosto	Media agua	1219.21	2428.79	0.85	29.56	31.70	360.92
	Agosto	Fondo	936.00	1872.28	0.85	29.44	32.30	360.92
	Septiembre	Superficie	1280.63	913.35	1.32	30.37	29.84	382.33
	Septiembre	Media agua	1059.54	781.22	1.32	30.34	30.75	382.33
	Septiembre	Fondo	1131.74	836.50	1.32	30.32	31.94	382.33
	Octubre	Superficie	291.31	998.54	1.07	28.69	31.09	373.26
	Octubre	Media agua	1736.52	6600.14	1.07	28.66	31.68	373.26
	Octubre	Fondo	1473.14	5437.52	1.07	28.68	31.94	373.26
	Noviembre	Superficie	29.33	116.32	1.18	25.53	30.41	338.31
	Noviembre	Media agua	27.29	239.16	1.18	25.46	30.81	338.31
Noviembre	Fondo	11.53	9731.24	1.18	25.25	32.04	338.31	
Diciembre *	Superficie	24.46	93.29	1.14	25.05	32.45	293.06	
Diciembre *	Media agua	26.52	189.24	1.10	24.85	32.86	293.06	
Diciembre *	Fondo	12.15	7301.21	1.06	24.64	33.27	293.06	

Anexo 2. Valores de activación de la primera capa interna del modelo multicapa de clasificación neuronal I. Densidad de postlarvas de camarón blanco (D blanco); densidad de postlarvas de camarón rosado (D rosado).

Variable	Ordenada	Pendiente
D rosado	0.00	0.000019
D blanco	0.00	0.000032

Anexo 3. Estructura de las ecuaciones lineales múltiples del modelo multicapa de clasificación neuronal I (Sinapsis 1 y 2). P son los pesos para las combinaciones lineales, Cij son los coeficientes lineales (i: capa; j: neurona).

	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	3.1	3.2	3.3
P	2.67	-2.69	2.61	-2.67	-2.50	2.70	-2.67	2.46	0.29	-0.76	-0.02
C1.1	-0.20	-1.00	-0.31	0.54	-1.57	-0.25	-0.79	1.35			
C1.2	0.15	0.11	0.07	0.65	-1.25	-0.04	0.52	1.42			
C2.1									0.85	0.71	0.84
C2.2									-0.13	-0.39	-0.51
C2.3									-0.13	-0.65	-0.34
C2.4									-0.13	0.21	-0.47
C2.5									-0.13	-0.78	0.40
C2.6									-0.13	-1.09	-0.61
C2.7									-0.13	0.35	0.01
C2.8									-0.13	0.77	-0.80

Anexo 4. Valores de activación de la primera capa interna del modelo de función básica radial de regresión neuronal. Densidad de postlarvas de camarón blanco (D blanco); densidad de postlarvas de camarón rosado (D rosado); temperatura del agua (TA); salinidad (S); velocidad de corriente (VC); descarga fluvial (Df).

Variable	Ordenada	Pendiente
TA	-2.91016	0.125298
S	-1.74275	0.072464
VC	-0.14805	0.847464
Df	-0.81748	0.004402
D blanco	-0.00017	0.000000
D rosado	-0.00014	0.000000

Anexo 5. Estructura de las ecuaciones del modelo de función básica radial de regresión neuronal (Sinapsis 1 y 2). P son los pesos para activar las combinaciones lineales; Cij, con los coeficientes (i: capa; j: neurona).

	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	3.1	3.2
P	0.7671	0.9593	1.2667	1.0771	0.9131	0.8030	0.0007	0.0005
C1.1	0.5284	0.4870	0.2447	0.8427	0.2308	0.7342		
C1.2	0.1966	0.1876	0.5526	0.4835	0.7118	0.9163		
C1.3	0.0786	0.7894	0.2905	0.4859	0.5960	0.5181		
C1.4	0.7472	0.4726	0.5375	0.6985	0.1590	0.1904		
C2.1							0.0001	0.0000
C2.2							-0.0001	0.0000
C2.3							-0.0002	0.0000
C2.4							0.0010	0.0006
C2.5							0.0001	-0.0002
C2.6							0.0002	0.0004

Anexo 6. Densidad mensual de las postlarvas de camarón blanco (D blanco) y rosado (D rosado); y las variables hidrológicas. Velocidad de la corriente (VC); temperatura del agua (TA); salinidad (S); descarga fluvial (Df).

Año	Fecha	D blanco	D rosado	VC	TA	S	Df
2010	Enero	58.10	5080.78	0.89	24.32	33.62	293.62
	Febrero	53.08	2577.79	0.82	23.77	34.88	213.05
	Marzo	48.05	74.83	1.03	23.23	36.15	219.33
	Abril	6356.65	1067.46	0.94	27.26	36.60	240.07
	Mayo	7388.39	6266.50	0.94	30.35	36.47	233.40
	Junio	38584.32	13158.10	0.89	31.17	36.48	247.41
	Julio	34639.19	28959.60	0.77	29.98	31.98	306.69
	Agosto	33035.26	31142.05	0.71	29.1	32.49	332.59
	Septiembre	31617.06	20384.66	0.90	29.87	22.82	329.60
	Octubre	754.44	630.69	0.96	27.91	26.78	328.54
	Noviembre	3383.57	2290.85	0.82	25.81	26.43	305.64
	Diciembre	2602.29	1793.06	1.07	25.86	28.66	250.77
2011	Enero	1821.01	1295.28	0.91	25.90	30.88	210.25
	Febrero	1039.72	797.50	0.76	25.95	33.10	193.41
	Marzo	258.44	299.71	0.83	26.00	35.32	185.70
	Abril	451.12	581.97	0.74	28.04	35.59	190.44
	Mayo	589.88	219.87	0.87	29.73	36.99	221.99
	Junio	24021.15	12437.61	0.88	29.68	37.85	278.89
	Julio	23939.04	54837.66	0.80	29.34	34.88	343.34
	Agosto	61100.34	105845.95	0.84	31.93	31.73	389.40
	Septiembre	14181.07	11081.88	0.76	30.80	30.82	412.87
	Octubre	3710.28	1843.28	0.55	27.76	26.65	385.22
	Noviembre	15304.02	13354.88	0.67	27.16	27.83	325.69
	Diciembre	148.12	320.02	0.70	24.86	32.93	277.28

Continuación

Anexo 6. Densidad mensual de las postlarvas de camarón blanco (D blanco) y rosado (D rosado); y las variables hidrológicas. Velocidad de la corriente (VC); temperatura del agua (TA); salinidad (S); descarga fluvial (Df).

Año	Fecha	D blanco	D rosado	VC	TA	S	Df
2012	Enero	1827.17	2723.33	0.58	25.23	33.49	237.59
	Febrero	377.76	724.81	0.56	25.89	32.23	201.61
	Marzo	549.89	338.96	0.61	27.35	36.38	186.59
	Abril	11211.80	4205.07	0.61	27.87	36.11	188.49
	Mayo	4025.05	6054.61	0.67	29.56	36.41	210.32
	Junio	1848.65	2926.51	0.81	30.55	35.87	254.07
	Julio	7134.27	2553.47	0.66	29.74	34.20	314.65
	Agosto	14443.48	15766.97	0.53	29.54	31.81	360.92
	Septiembre	3471.91	2531.07	0.49	30.34	30.84	382.33
	Octubre	3500.97	13036.20	0.69	28.68	31.57	373.26
	Noviembre	68.15	10086.72	0.66	25.41	31.09	338.31
	Diciembre	63.13	7583.74	0.95	24.87	32.35	293.06

Anexo 7. Valores de activación de la primera capa interna del modelo multicapa de clasificación neuronal II.

Nombre	Ordenada	Pendiente
Valor	-0.000501	0.000945
Variables	0.000000	1.000000

Anexo 8. Estructura de las ecuaciones del modelo multicapa de clasificación neuronal II (Sinapsis 1 y 2). P son los pesos para activar las combinaciones lineales; Cij son los coeficientes (i: capa: j: neurona).

	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6
P	0.281	0.593	0.168	-0.002	0.152	-0.389	-0.628	-0.144	0.030	-0.088	-0.230
C1.1	-2.866	3.641	-4.311	-3.764	4.250						
C2.1						-1.443	-1.459	0.706	0.589	-1.102	-0.954
C2.2						1.421	2.138	-1.293	-1.527	0.139	0.818
C2.3						-1.509	-0.989	1.812	1.389	-0.868	-1.204
C2.4						-1.084	-1.024	1.477	1.333	-0.627	-0.513
C2.5						1.720	1.641	-1.153	-1.028	0.988	1.109

Anexo 9. Registro mensual de las variables oceanográficas (2010 - 2012).
Temperatura superficial del mar (TSM); concentración de clorofila a (Cl-a).

Año	Fecha	TSM	Cl-a	Año	Fecha	TSM	Cl-a	
2010	Enero	23.39	2.18	2011	Julio	28.72	1.34	
	Febrero	24.11	2.08		Agosto	29.12	1.79	
	Marzo	23.93	2.23		Septiembre	29.33	3.03	
	Abril	26.99	1.22		Octubre	28.54	4.01	
	Mayo	28.85	1.25		Noviembre	27.21	4.27	
	Junio	29.59	2.37		Diciembre	25.34	3.01	
	2011	Julio	29.89	1.83	2012	Enero	24.83	2.39
		Agosto	29.75	1.87		Febrero	25.93	2.64
		Septiembre	30.47	3.79		Marzo	27.10	1.85
		Octubre	28.73	5.36		Abril	28.30	2.10
		Noviembre	26.88	3.70		Mayo	29.57	1.36
		Diciembre	24.35	2.52		Junio	30.06	1.54
2011		Enero	23.65	1.77	Julio	29.21	1.61	
		Febrero	24.45	1.96	Agosto	29.08	2.10	
		Marzo	26.06	1.83	Septiembre	30.18	2.84	
		Abril	28.58	3.26	Octubre	29.71	2.54	
		Mayo	29.23	1.84	Noviembre	26.74	2.63	
		Junio	29.64	1.97	Diciembre	25.71	2.50	

Anexo 10. Valores cíclicos de los patrones armónicos de variación de la densidad de las postlarvas y las variables hidrológicas. Densidad de postlarvas de *P. setiferus* (D blanco); densidad de postlarvas de *P. duorarum* (D rosado); velocidad de corriente (VC); temperatura del agua (TA); salinidad (S); descarga fluvial (Df).

Años	Mes	D blanco	D rosado	VC	TA	S	Df
2010 2011 2012	Enero	-8798	-8336	0.01	-2.61	-0.06	-36
	Febrero	-9349	-9623	-0.07	-2.47	0.59	-76
	Marzo	-9385	-10420	0.03	-2.05	3.31	-83
	Abril	-3445	-8430	-0.03	-0.08	3.34	-76
	Mayo	-5858	-6702	0.05	1.95	3.89	-58
	Junio	9946	-1651	0.09	2.51	3.97	-17
	Julio	12106	18176	-0.03	1.88	0.95	43
	Agosto	28373	44106	-0.07	2.47	-0.60	83
	Septiembre	7500	1246	-0.04	2.51	-4.79	96
	Octubre	-7998	-7002	-0.04	0.18	-4.69	83
	Noviembre	-3574	-2833	-0.05	-1.66	-4.49	44
	Diciembre	-9516	-8531	0.13	-2.63	-1.42	-6

Anexo 11. Matriz de probabilidad de las variables poblacionales e hidrológicas. Densidad de postlarvas de camarón blanco (D blanco); densidad de postlarvas de camarón rosado (D rosado); velocidad de corriente (VC); temperatura del agua (TA); salinidad (S); descarga fluvial (Df).

D blanco	D rosado	VC	TA	S	Df
0.1320608	0.1068524	0.2173898	0.1769886	0.1418192	0.2248892
0.2616830	0.2064972	0.0577924	0.2139261	0.1940087	0.0660926
0.3483748	0.2739120	0.0109915	0.1736524	0.1793654	0.0137039
0.4020191	0.3220439	0.0020773	0.1244401	0.1466446	0.0027751
0.4347783	0.3618444	0.0004440	0.0864329	0.1158761	0.0006243
0.4518272	0.3962355	0.0001130	0.0603168	0.0913429	0.0001646
0.4576003	0.4261121	0.0000350	0.0431572	0.0730435	0.0000520
0.4562579	0.4518465	0.0000131	0.0320428	0.0598200	0.0000198
0.4511230	0.4736465	0.0000059	0.0248243	0.0503913	0.0000089
0.4444875	0.4917361	0.0000031	0.0200793	0.0436892	0.0000047
0.4377373	0.5064345	0.0000019	0.0169092	0.0389142	0.0000029
0.4315947	0.5181515	0.0000013	0.0147546	0.0354960	0.0000019
0.4263538	0.5273420	0.0000010	0.0132665	0.0330352	0.0000014
0.4220625	0.5344572	0.0000008	0.0122243	0.0312541	0.0000011
0.4186450	0.5399094	0.0000006	0.0114855	0.0299585	0.0000010
0.4159754	0.5440542	0.0000006	0.0109569	0.0290120	0.0000008
0.4139185	0.5471863	0.0000005	0.0105758	0.0283181	0.0000008
0.4123493	0.5495423	0.0000005	0.0102993	0.0278078	0.0000007
0.4111609	0.5513085	0.0000005	0.0100978	0.0274317	0.0000007
0.4102656	0.5526291	0.0000004	0.0099504	0.0271537	0.0000007
0.4095938	0.5536148	0.0000004	0.0098423	0.0269480	0.0000006
0.4090913	0.5543493	0.0000004	0.0097628	0.0267956	0.0000006
0.4087162	0.5548962	0.0000004	0.0097042	0.0266824	0.0000006
0.4084367	0.5553030	0.0000004	0.0096610	0.0265982	0.0000006
0.4082288	0.5556055	0.0000004	0.0096291	0.0265356	0.0000006

Anexo 12. Predicción retrospectiva del modelo de correlación canónica (Ecuación 4). Densidad de postlarvas de camarón blanco (D blanco); densidad de postlarvas de camarón rosado (D rosado); subíndice obs (Observado); subíndice esp (Esperado).

Mes	D blanco _{obs}	D rosado _{obs}	D blanco _{esp}	D rosado _{esp}	
	10 ²	10 ²	10 ²	10 ²	
2010	Enero	0.58	50.81	54.81	16.6
	Febrero	0.53	25.78	54.64	17.29
	Marzo	0.48	0.75	55.45	17.58
	Abril	63.57	10.67	59.69	18.52
	Mayo	73.88	62.66	62.4	19.11
	Junio	385.84	131.58	63.25	19.25
	Julio	346.39	289.60	58.68	17.09
	Agosto	330.35	311.42	58.48	17.04
	Septiembre	316.17	203.85	51.01	13.36
	Octubre	7.54	6.31	52.63	14.5
	Noviembre	33.84	22.91	50.06	14.07
	Diciembre	26.02	17.93	51.76	15.06
2011	Enero	18.21	12.95	53.23	16.14
	Febrero	10.40	7.97	54.91	17.13
	Marzo	2.58	3.00	56.86	18.01
	Abril	4.51	5.82	58.95	18.54
	Mayo	5.90	2.20	62.11	19.26
	Junio	240.21	124.38	63.29	19.38
	Julio	239.39	548.38	60.92	17.94
	Agosto	611.00	1058.46	61.05	17.06
	Septiembre	141.81	110.82	59.35	16.42
	Octubre	37.10	18.43	52.51	14.36
	Noviembre	153.04	133.55	52.57	14.87
	Diciembre	1.48	3.20	54.42	16.56

Continuación

Anexo 12. Predicción retrospectiva del modelo de correlación canónica (Ec. 4). Densidad de postlarvas de camarón blanco (D blanco); densidad de postlarvas de camarón rosado (D rosado); subíndice obs (Observado); subíndice esp (Esperado).

Mes	D blanco _{obs}	D rosado _{obs}	D blanco _{esp}	D rosado _{esp}	
	10 ²	10 ²	10 ²	10 ²	
2012	Enero	18.27	27.23	54.80	17.04
	Febrero	3.78	7.25	54.00	16.82
	Marzo	5.50	3.39	58.84	18.76
	Abril	112.12	42.05	59.12	18.76
	Mayo	40.25	60.55	61.18	19.11
	Junio	18.49	29.27	62.13	18.89
	Julio	71.34	25.53	60.34	17.91
	Agosto	144.43	157.67	58.38	16.83
	Septiembre	34.72	25.31	58.45	16.55
	Octubre	35.01	130.36	57.61	16.46
	Noviembre	0.68	100.87	53.84	15.75
	Diciembre	0.63	75.84	54.28	16.19

Anexo 13. Predicción retrospectiva del modelo corregido de la correlación canónica (Ecuación 9). Densidad de postlarvas de camarón blanco (D blanco); densidad de postlarvas de camarón rosado (D rosado); subíndice obs (Observado); subíndice esp (Esperado).

Mes	D blanco _{obs}	D rosado _{obs}	D blanco _{esp}	D rosado _{esp}	
	10 ²	10 ²	10 ²	10 ²	
2010	Enero	0.58	50.81	1.97	51.40
	Febrero	0.53	25.78	1.94	26.38
	Marzo	0.48	0.75	1.93	1.36
	Abril	63.57	10.67	65.08	11.32
	Mayo	73.88	62.66	75.44	63.32
	Junio	385.84	131.58	387.41	132.24
	Julio	346.39	289.60	347.81	290.20
	Agosto	330.35	311.42	331.78	312.02
	Septiembre	316.17	203.85	317.31	204.33
	Octubre	7.54	6.31	8.78	6.83
	Noviembre	33.84	22.91	35.03	23.41
	Diciembre	26.02	17.93	27.28	18.46
2011	Enero	18.21	12.95	19.53	13.51
	Febrero	10.40	7.97	11.78	8.56
	Marzo	2.58	3.00	4.04	3.61
	Abril	4.51	5.82	6.00	6.45
	Mayo	5.90	2.20	7.46	2.86
	Junio	240.21	124.38	241.80	125.05
	Julio	239.39	548.38	240.89	549.01
	Agosto	611.00	1058.46	612.45	1059.07
	Septiembre	141.81	110.82	143.21	111.41
	Octubre	37.10	18.43	38.33	18.95
	Noviembre	153.04	133.55	154.29	134.08
	Diciembre	1.48	3.20	2.86	3.78

Continuación

Anexo 13. Predicción retrospectiva del modelo corregido de la correlación canónica (Ecuación 9). Densidad de postlarvas de camarón blanco (D blanco); densidad de postlarvas de camarón rosado (D rosado); subíndice obs (Observado); subíndice esp (Esperado).

Mes	D blanco _{obs}	D rosado _{obs}	D blanco _{esp}	D rosado _{esp}	
	10 ²	10 ²	10 ²	10 ²	
2012	Enero	18.27	27.23	19.66	27.82
	Febrero	3.78	7.25	5.14	7.82
	Marzo	5.50	3.39	7.00	4.03
	Abril	112.12	42.05	113.62	42.69
	Mayo	40.25	60.55	41.79	61.20
	Junio	18.49	29.27	20.03	29.92
	Julio	71.34	25.53	72.83	26.16
	Agosto	144.43	157.67	145.85	158.27
	Septiembre	34.72	25.31	36.11	25.90
	Octubre	35.01	130.36	36.40	130.95
	Noviembre	0.68	100.87	2.01	101.43
	Diciembre	0.63	75.84	1.99	76.41

Anexo 14. Predicción prospectiva del modelo de correlación canónica (Ecuación 9). Densidad esperada de postlarvas de camarón blanco ($D_{\text{blanco}_{\text{esp}}}$); densidad esperada de postlarvas de camarón rosado ($D_{\text{rosado}_{\text{esp}}}$); velocidad de corriente (VC); temperatura del agua (TA); salinidad (S); descarga fluvial (Df).

Año	Mes	$D_{\text{blanco}_{\text{esp}}}$	$D_{\text{rosado}_{\text{esp}}}$	VC	TA	S	Df
		10^2	10^2				10^2
2013	Enero	3.00	2.49	0.62	26.24	33.95	2.51
	Febrero	4.52	2.68	0.67	25.26	34.44	2.19
	Marzo	5.79	5.22	0.71	24.28	34.93	2.02
	Abril	10.21	13.30	0.81	28.48	37.08	2.01
	Mayo	17.17	28.57	0.57	28.36	37.05	2.19
	Junio	30.22	56.81	0.78	30.11	34.99	2.53
	Julio	51.15	94.97	0.66	29.74	34.13	2.94
	Agosto	53.47	81.67	0.53	29.59	31.03	3.25
	Septiembre	33.30	37.51	0.49	30.34	30.92	3.35
	Octubre	14.44	10.87	0.71	28.66	31.61	3.24
	Noviembre	9.65	2.29	0.64	25.36	31.09	2.98
	Diciembre	8.44	2.48	0.70	25.71	31.66	2.67
2014	Enero	2.66	1.45	0.75	26.07	32.23	2.37
	Febrero	1.66	0.47	0.81	26.43	32.81	2.20
	Marzo	1.83	3.59	0.87	26.78	33.38	2.26
	Abril	2.25	4.31	0.80	27.55	33.67	2.50
	Mayo	5.36	0.08	0.74	28.33	33.96	2.72
	Junio	10.04	9.38	0.76	29.46	33.37	2.96
	Julio	18.24	27.79	0.79	29.61	36.74	3.16
	Agosto	33.61	61.19	0.76	30.17	36.49	3.31
	Septiembre	56.17	102.17	0.57	29.66	34.46	3.42
	Octubre	52.65	74.86	0.33	27.24	34.40	3.40
	Noviembre	30.31	30.89	0.43	23.22	37.04	3.16
	Diciembre	12.72	7.15	0.55	24.37	36.33	2.81

Continuación

Anexo 14. Predicción prospectiva del modelo de correlación canónica (Ecuación 9). Densidad esperada de postlarvas de camarón blanco ($D_{\text{blanco}_{\text{esp}}}$); densidad esperada de postlarvas de camarón rosado ($D_{\text{rosado}_{\text{esp}}}$); velocidad de corriente (VC); temperatura del agua (TA); salinidad (S); descarga fluvial (Df).

Año	Mes	$D_{\text{blanco}_{\text{esp}}}$	$D_{\text{rosado}_{\text{esp}}}$	VC	TA	S	Df
		10^2	10^2				10^2
2015	Enero	11.01	2.00	0.68	25.53	35.61	2.48
	Febrero	8.38	3.08	0.81	26.68	34.90	2.25
	Marzo	3.22	3.43	0.94	27.83	34.19	2.20
	Abril	3.55	2.89	0.82	28.48	36.94	2.26
	Mayo	3.85	1.31	1.01	28.96	38.48	2.34
	Junio	4.93	2.83	0.66	28.68	38.98	2.44
	Julio	8.41	8.88	0.75	30.24	38.47	2.63
	Agosto	13.69	20.58	0.58	29.62	38.23	2.92
	Septiembre	23.85	43.05	1.36	29.96	36.29	3.23
	Octubre	42.43	80.34	0.56	28.67	33.58	3.42
	Noviembre	57.49	98.08	0.53	28.19	32.98	3.38
	Diciembre	42.47	53.27	0.58	27.21	33.46	3.19

Anexo 15. Valores cíclicos de los patrones armónicos de variación de las variables oceanográficas. Temperatura superficial del mar (TSM); concentración de clorofila a (Cl-a).

Año	Mes	TSM	Cl-a
2010 2011 2012	Enero	-3.62	-0.34
	Febrero	-2.72	-0.20
	Marzo	-1.72	-0.51
	Abril	0.45	-0.13
	Mayo	1.62	-0.90
	Junio	2.14	-0.49
	Julio	1.66	-0.82
	Agosto	1.78	-0.55
	Septiembre	2.38	0.82
	Octubre	1.28	1.70
	Noviembre	-0.67	1.19
	Diciembre	-2.58	0.24

Anexo 16. Captura mensual de los camarones blanco y rosado en el estado de Campeche. Tomado de CONAPESCA (2018). Valor cíclico de los patrones armónicos de variación de la captura en peso vivo (PAV vivo), blanco y rosado respectivamente.

Año	Fecha	Peso Vivo		PAV vivo	
		(Kg.) Blanco	Blanco	Rosado	Rosado
2010	Enero	32133.2	7024.3	91888.6	4695
	Febrero	7934.8	-166.1	174349.6	81624
	Marzo	3466.6	1976.8	164489	109103
	Abril	12116.4	27107.6	627478.8	159096
	Mayo	5427	-19854.2	93837.2	-42012
	Junio	0	-24544.1	0	-119861
	Julio	0	-25092.6	0	-120165
	Agosto	0	-23203	0	-125747
	Septiembre	0	-23258.8	10860	-122776
	Octubre	22184.2	-6584.7	4337.6	-120463
	Noviembre	77382.8	40734.3	93629	54185
	Diciembre	39790.4	45860.3	219939.8	242320
2011	Enero	54104.5	7024.3	128742.9	4695
	Febrero	31120.7	-166.1	156983.4	81624
	Marzo	33978.7	1976.8	289616	109103
	Abril	63111.2	27107.6	164865.7	159096
	Mayo	6913	-19854.2	148486	-42012
	Junio	0	-24544.1	1488.3	-119861
	Julio	0	-25092.6	828	-120165
	Agosto	0	-23203	314.4	-125747
	Septiembre	402.4	-23258.8	0	-122776
	Octubre	10557.8	-6584.7	11233.6	-120463
	Noviembre	22,915.5	40734.3	347832.3	54185
	Diciembre	19185.8	45860.3	607155.4	242320

Continuación

Anexo 16. Captura mensual de los camarones blanco y rosado en el estado de Campeche. Tomado de CONAPESCA (2018). Valor cíclico de los patrones armónicos de variación de la captura en peso vivo (PAV vivo), blanco y rosado respectivamente.

Año	Fecha	Peso Vivo	PAV vivo	Peso Vivo (Kg.)	PAV vivo
		(Kg.) Blanco	Blanco	Rosado	Rosado
2012	Enero	7836.6	7024.3	146835.6	4695
	Febrero	27778.2	-166.1	268818.9	81624
	Marzo	33613.5	1976.8	216038.4	109103
	Abril	65729.7	27107.6	165141.6	159096
	Mayo	1080	-19854.2	996	-42012
	Junio	0	-24544.1	1598.4	-119861
	Julio	0	-25092.6	1980.6	-120165
	Agosto	0	-23203	0	-125747
	Septiembre	0	-23258.8	0	-122776
	Octubre	19443	-6584.7	4332.6	-120463
	Noviembre	109618.5	40734.3	44826.9	54185
	Diciembre	191924.5	45860.3	215048.1	242320

Research Article

The seasonal entrance of *Penaeus setiferus* and *Penaeus duorarum* postlarvae into Términos Lagoon, Campeche, México

Araceli Puentes-Salazar¹, Pedro Cervantes-Hernandez² & Mario A. Gómez-Ponce³

¹Postgrado en Ecología Marina, Universidad del Mar, Puerto Ángel, Oaxaca, México

²Instituto de Recursos, Universidad del Mar, Puerto Ángel, Oaxaca, México

³Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Estación El Carmen

Universidad Nacional Autónoma de México, Campeche, México

Corresponding author: Pedro Cervantes-Hernández (pch@angel.umar.mx)

ABSTRACT. This study establishes the season for the immigration (recruitment) of *Penaeus setiferus* and *P. duorarum* postlarvae into Términos Lagoon, México, as well as the hydrological conditions that occur during this event. The abundance of postlarvae of both species was used to infer the reproductive period for each species. The zooplankton collection was carried out monthly for three years. The nets used were 50 cm in diameter, 1.5 m in length and 505 μm mesh size, and temperature and salinity were measured with an YSI. The fluvial discharges were taken from Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). The harmonic pattern variation (HPV) was analyzed for each variable (density of postlarvae, salinity, temperature and fluvial discharge). A cycle was analyzed and divided into two episodes (rise and descent) to estimate the HPV of each postlarval species. The entrance of both postlarval species starts from June to September, with higher density in August, which decreases from October to May, with the lowest density in March. The first episode was established from June to August and the second episode in September. During the first episode the hydrological conditions were: high salinity (34), a warm temperature (30°C) and low accumulated fluvial discharge (2,828 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), while, in the second, they were low salinity (28), a moderately warm temperature (29°C) and high accumulated fluvial discharge (3,934 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

Keywords: *Penaeus setiferus*; *Penaeus duorarum*; white shrimp; pink shrimp; recruitment; reproduction

INTRODUCTION

The shrimp is an important economic resource in México, and throughout the Gulf of México, the main shrimp fishery sectors are located in Tamaulipas-Veracruz and Campeche Bank (Bank, where the Términos Lagoon is located). The brown shrimp (*Penaeus aztecus* Ives, 1891) is caught at the first location. The white shrimp *Penaeus setiferus* (Linnaeus, 1767) and pink shrimp *Penaeus duorarum* Burkenroad, 1939 are caught at the second location (Gracia, 2004).

In the Gulf of México, the shrimp fishery was founded in 1950, and in 1972 the maximum catch recorded was 20,000 t (Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2006). Recently, the shrimp catch level was documented at 12,973 t (CONAPESCA, 2016). At first, the

shrimp fishery had neither catch regulations nor a closure system (Cervantes-Hernández & Gracia, 2011). Due to its growing exploitation, in 1993, a closure season was instituted throughout the Gulf of México (from May to August with modifications until September-October) (SAGARPA-INP, 2012). Before 1993, the Mexican government had extensive records about the commercial shrimp catch, classified by categories (shrimp abundance separated by age groups), and this information was used to monitor the shrimp fishery with studies on mortality, exploitation evaluations and verifications of closure (Cervantes-Hernández, 1999, 2015; Cervantes-Hernández & Gracia, 2011). In the Tamaulipas-Veracruz sector, the mentioned catch type *P. aztecus* reproductive and recruitment seasons were documented from 1974 to

1992 (Cervantes-Hernández, 2015). With similar catch information, Cervantes-Hernández (2008) documented *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900) reproductive and recruitment seasons in the Gulf of Tehuantepec. Cervantes-Hernández (2008) concluded that the commercial shrimp catch, classified by categories, is an excellent marine recourse for monitoring the shrimp fishery and delimiting shrimp reproductive and recruitment seasons.

When closures began to work in the Gulf of México, the Mexican government stopped recording the commercial shrimp catch, classified by categories, and updates to the studies mentioned above were discontinued. For this reason, different authors implemented other study methods to delimit shrimp reproductive seasons. According to Gracia & Soto (1990), Flores-Coto *et al.* (2018) and Gómez-Ponce *et al.* (2018), reproductive seasonality can be indirectly documented with estimations of the density of shrimp postlarvae that enters lagoon systems.

For our study period, the shrimp commercial catch record classified by categories does not exist. For this reason, the shrimp postlarvae entrance into Términos Lagoon was used to delimit *P. setiferus* and *P. duorarum* reproductive seasons. Hydrologic information was used to describe prevalent lagoon conditions during shrimp postlarvae entrance.

The objective is to establish the postlarvae recruitment season of *P. setiferus* and *P. duorarum* in the Términos Lagoon, as well as the reproductive season of these species in the Campeche Bank. This study complements other studies on *P. setiferus* and *P. duorarum* reproductive seasons in the Gulf of México. Additionally, cases of shrimp reproductive seasons, documented in the shrimp commercial catch record, classified by the categories of *P. setiferus*, *P. duorarum* and *F. californiensis*, were examined.

MATERIALS AND METHODS

Fieldwork

For the present study, from 2010 to 2012, technical personnel from ICMyL, UNAM, sampled *Penaeus setiferus* and *P. duorarum* postlarvae in the Puerto Real Inlet (18°46'46.40"N, 91°30'1.55"W) located in Términos Lagoon, México (Fig. 1). For catching postlarvae, a special device was used, and it incorporated three CALCOFI trapeze-type nets placed on the surface (1 m), at mid-water (4 m), and the bottom (9 m). Each net has a 50 cm mouth diameter, 1.5 m total length, and a 505 μm mesh size (Flores-Coto & Zavala-García, 1994). The device was placed with ballast at the bottom of the lagoon and secured to one of the Puerto Real

bridge columns via parallel cables. In the field, collected postlarvae were preserved in 4% formalin (neutralized with sodium borate).

Reproductive seasons

In the laboratory, postlarvae were transferred to bottles with 70% alcohol. According to Ringo & Zamora (1968) and Subrahmanyam (1971), postlarvae were separated and identified as *P. setiferus* or *P. duorarum*. For the three depth levels, postlarvae density was estimated $\times 100 \text{ m}^3$ of filtered water (Table 1). This information was used to establish the total postlarvae density that entered monthly into Términos Lagoon. Based on this information, the two-time series was composed, and named *P. setiferus* postlarvae density (Ps) and *P. duorarum* postlarvae density (Pd), respectively.

The mentioned time series were analyzed via the CENSUS method in order to estimate the harmonic pattern variation (HPV) (referred to as the seasonal factor in Statistica 7.0 software) (Cervantes-Hernández *et al.*, 2016). HPV is a mathematical application used to detect, from Ps and Pd time series, monthly cyclical anomalies of equal magnitudes (cycle height) and amplitudes (cycle width). These monthly cyclical anomalies can be positive or negative, with the zero value as the midpoint of change. Positive cyclical anomalies represented the increases in postlarvae entrance into Términos Lagoon, and negative cyclical anomalies represented the decreases. The positive cyclical anomalies were explicitly used to describe when postlarvae started to arrive, reached their maximum density, and finished entering Términos Lagoon. In this study, HPV were named as follows: HPV-Ps for *P. setiferus* postlarvae density and HPV-Pd for *P. duorarum* postlarvae density.

Hydrologic information

During the postlarvae sampling in Puerto Real Inlet, monthly salinity and lagoon water temperatures were recorded at the three depth levels. Additionally, we used fluvial discharge records from the Candelaria, Chumpan, and Palizada rivers (in $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) provided by the Government Agency CONAGUA in Campeche State.

The salinity and the lagoon water temperature were averaged monthly, considering the three depth levels. With that information and the monthly accumulate fluvial discharge, three-time series were composed. Each time series was analyzed via the Census method to estimate their corresponding HPV. The increases in salinity, lagoon water temperature and accumulate fluvial discharge were represented by positive cyclical

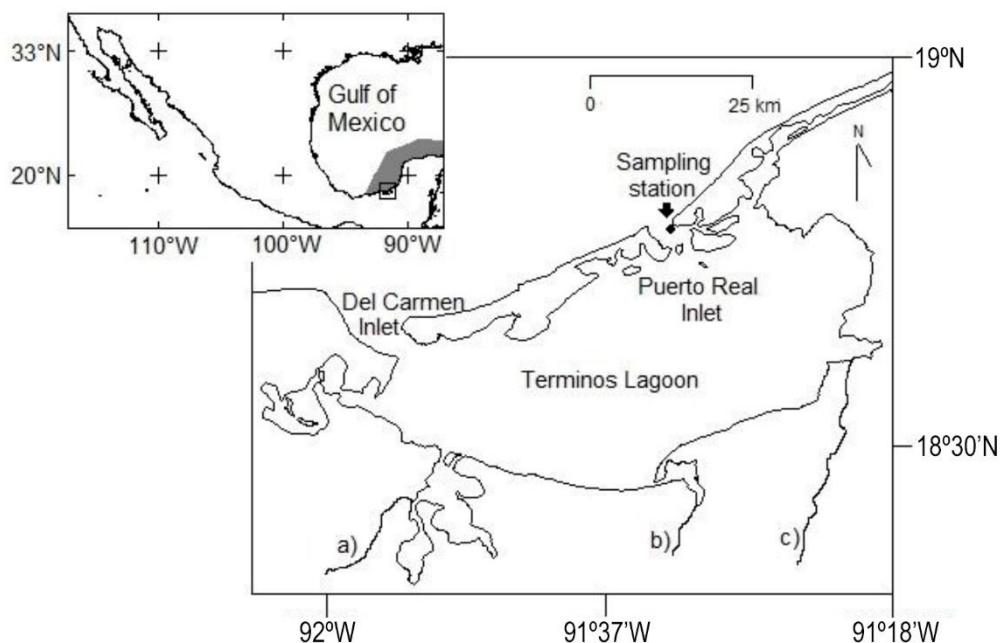


Figure 1. The geographical location of Términos Lagoon. Campeche Bank sector (grey area), a) Palizada, b) Chumpam and c) Candelaria rivers. Single sampling station (black point).

anomalies. Additionally, the respective decreases were represented by negative cyclical anomalies. The positive cyclical anomalies were specifically used to describe internal lagoon conditions during the entrance of shrimp postlarvae.

In this study, the aforementioned HPV were named as the following: HPV-salinity, HPV-lagoon water temperature, and HPV-accumulate fluvial discharge, respectively.

Multiple correlations

Once HPV-Ps and HPV-Pd were estimated, a complete postlarvae entrance cycle was identified and taken as reference to explain the other found cycles in the study period. The cycle of reference was divided into two sections. The first section was established from initial to maximum postlarvae entrance the first postlarvae entrance episode, and the second section was established from after maximum until the end of the postlarvae entrance the second postlarvae entrance episode. Finally, for each postlarvae entrance episode, the following HPV time series were statistically correlated: Ps, Pd, salinity, lagoon water temperature and accumulate fluvial discharge. The Statistica 7.0 software performed the correlation process.

RESULTS

Reproductive seasons and postlarvae entrance

In average, the positive cyclical anomalies of the HPV-Ps and HPV-Pd showed that *Penaeus setiferus* and *P.*

duorarum postlarvae entered Términos Lagoon annually from June to September, with the highest density of postlarvae entrance occurring in August (Fig. 2). The corresponding negative cyclical anomalies showed that each year postlarvae entrance decreased from October to May, and the lowest density of postlarvae entrance was recorded during March (Fig. 2).

For both shrimp species, the first postlarvae entrance cycle was used as reference, and this was divided into two sections from June to August (the first postlarvae entrance episode), and the complete month of September (the first postlarvae entrance episode) (Fig. 2). The aforementioned was equally taken into account for other found years.

An analysis more detail on the positive cyclical anomalies of the HPV-Ps and HPV-Pd signals suggests that both species of shrimp postlarvae did not enter lagoon environment at the same time. In the case of *P. setiferus*, its postlarvae entered from early June to late September. In the case of *P. duorarum*, its postlarvae entered from middle June to middle September. So, it was detected that there is a difference of 15 days between the postlarvae entrance of both shrimp species (Fig. 2).

Hydrologic information

Estimated hydrologic HPV time series are shown in Figure 3.

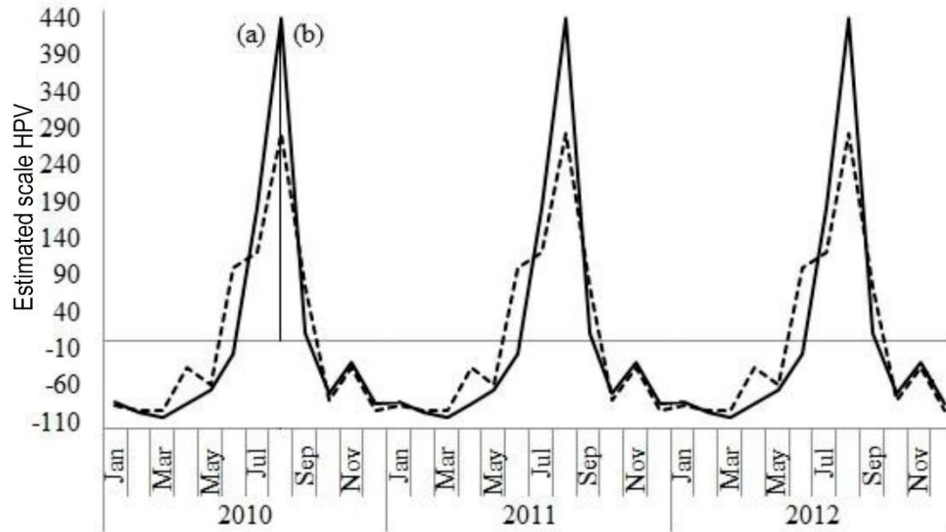


Figure 2. Harmonic pattern variations (HPV) of *Penaeus setiferus* postlarvae density (HPV-Ps, discontinuous line) and *P. duorarum* postlarvae density (HPV-Pd, black line). The estimated range for positive cyclical anomalies was from 1 to 440, and in the case of negative cyclical anomalies, it was between -1 and -110: the first postlarvae entrance episode (a) and the second postlarvae entrance episode (b).

A highest postlarvae density on entrance into Términos Lagoon during was recorded during the first episodes (Table 1, Fig. 2). In this case, prevalent hydrologic lagoon conditions were high salinity (34), a warm lagoon temperature (30°C), and low accumulate fluvial discharge (2,828 m³ s⁻¹) (Table 1, Fig. 3).

A lowest postlarvae density on entrance into Términos Lagoon was recorded during the second episode (Table 1, Fig. 2). In this case, prevalent hydrologic lagoon conditions were low salinity (28), a moderately warm lagoon temperature (29°C), and high accumulate fluvial discharge (3,934 m³ s⁻¹) (Table 1, Fig. 3).

Multiple correlations between the HPV time series

In the first postlarvae entrance episode, Ps and Pd showed direct correlations with salinity ($r = 0.46$ and $r = 0.86$, respectively), lagoon water temperature ($r = 0.90$ and $r = 0.99$, respectively) and accumulate fluvial discharge ($r = 0.38$ and $r = 0.82$, respectively). All correlation cases resulted statistical not significance ($P > 0.05$). Additionally, Ps and Pd showed direct correlation ($r = 0.84$, $P > 0.05$).

In the second postlarvae entrance episode, Ps and Pd showed inverse correlations with salinity ($r = -0.99$ ($P < 0.05$) and $r = -0.76$ ($P > 0.05$), respectively), lagoon water temperature ($r = -0.99$ and $r = -0.77$, respectively, $P > 0.05$), and accumulate fluvial discharge ($r = -0.72$ ($P > 0.05$) and $r = -0.99$ ($P < 0.05$), respectively). Additionally, Ps and Pd showed direct correlation ($r = 0.71$, $P > 0.05$).

DISCUSSION

In the first study performed in Términos Lagoon, it was documented that *Penaeus setiferus* and *P. duorarum* postlarvae have an entrance massive episode in the year. This episode was established from June to September, with maximum postlarvae entrance in July and November 1979, and in June 1980 (Gracia & Soto, 1990). This study was performed with eleven months of sampling (from August to November 1979 and from February to August 1980). Additionally, the authors used shrimp commercial catch records, and they reported a greater abundance of *P. setiferus* spawners in the Campeche Bank sector from October to February (Fig. 4). In the case of *P. setiferus*, these circumstances are not consistent with each other because when its spawner abundance increases, the postlarvae entrance should be more significant. So, there should be a second postlarvae entrance episode during winter in Términos Lagoon.

The first postlarvae entrance episode

In complementary studies conducted in Términos Lagoon, Flores-Coto *et al.* (2018) and Gómez-Ponce *et al.* (2018), again documented the first postlarvae entrance episode mentioned by Gracia & Soto (1990). These authors implemented nine months of sampling (between March and November 2010 and 2013, respectively), and they documented maximum *P. setiferus* and *P. duorarum* postlarvae entrance in June and in September 2013. Between those particular studies,

Table 1. Monthly original *Penaeus setiferus* (Ps) and *P. duorarum* (Pd) postlarvae density records for 100 m³ of filtered water. Monthly salinity (S) and water temperature of lagoon (WTL in °C) recorded in Puerto Real Inlet. Monthly fluvial discharge (FD) records from the Candelaria, Chumpan and Palizada rivers in m³ s⁻¹.

	Ps	Pd	S	WTL	FD	
2010	January	58.10	5080.78	33.62	24.32	293.62
	February	53.08	2577.79	34.88	23.77	213.05
	March	48.05	74.83	36.15	23.23	219.33
	April	6356.65	1067.46	36.60	27.26	240.07
	May	7388.39	6266.50	36.47	30.35	233.40
	June	38584.32	13158.10	36.48	31.17	247.41
	July	34639.19	28959.60	31.98	29.98	306.69
	August	33035.26	31142.05	32.49	29.10	332.59
	September	31617.06	20384.66	22.82	29.87	329.60
	October	754.44	630.69	26.78	27.91	328.54
	November	3383.57	2290.85	26.43	25.81	305.64
	December	2602.29	1793.06	28.66	25.86	250.77
2011	January	1821.01	1295.28	30.88	25.90	210.25
	February	1039.72	797.50	33.10	25.95	193.41
	March	258.44	299.71	35.32	26.00	185.70
	April	451.12	581.97	35.59	28.04	190.44
	May	589.88	219.87	36.99	29.73	221.99
	June	24021.15	12437.61	37.85	29.68	278.89
	July	23939.04	54837.66	34.88	29.34	343.34
	August	61100.34	105846.00	31.73	31.93	389.40
	September	14181.07	11081.88	30.82	30.80	412.87
	October	3710.28	1843.28	26.65	27.76	385.22
	November	15304.02	13354.88	27.83	27.16	325.69
	December	148.12	320.02	32.93	24.86	277.28
2012	January	1827.17	2723.33	33.49	25.23	237.59
	February	377.76	724.81	32.23	25.89	201.61
	March	549.89	338.96	36.38	27.35	186.59
	April	11211.80	4205.07	36.11	27.87	188.49
	May	4025.05	6054.61	36.41	29.56	210.32
	June	1848.65	2926.51	35.87	30.55	254.07
	July	7134.27	2553.47	34.20	29.74	314.65
	August	4443.48	15766.97	31.81	29.54	360.92
	September	3471.91	2531.07	30.84	30.34	382.33
	October	3500.97	13036.20	31.57	28.68	373.26
	November	68.15	10086.72	31.09	25.41	338.31
	December	63.13	7583.74	32.35	24.87	293.06

the most significant differences were found for *P. setiferus* and *P. duorarum* postlarvae entrance dates, and these differences were partially explained concerning changes lagoon water temperature. Flores-Coto *et al.* (2018) and Gómez-Ponce *et al.* (2018) concluded that most postlarvae entrance occurs from June to September (during the rainy season) when the lagoon water temperature is warm. Also, these authors mentioned that during the rest of the year, postlarvae entrance is reduced (from October to May).

In the present study, problems identifying entrance dates for the maximum entry influx of *P. setiferus* and

P. duorarum postlarvae were solved via HPV-Ps and HPV-Pd signals. Results showed that the entrance of *P. setiferus* and *P. duorarum* postlarvae into Términos Lagoon occurs from June to September (during the rainy season), with maximum postlarvae entrance occurring in August (Fig. 2). Additionally, postlarvae entrance decreased from October to May, and the lowest signal was recorded during March (Fig. 2). It was concluded that the annual cycle of postlarvae entrance is similar for both shrimp species, but it is important to recognize that a difference of 15 days was recorded in their arrival dates (Fig. 2).

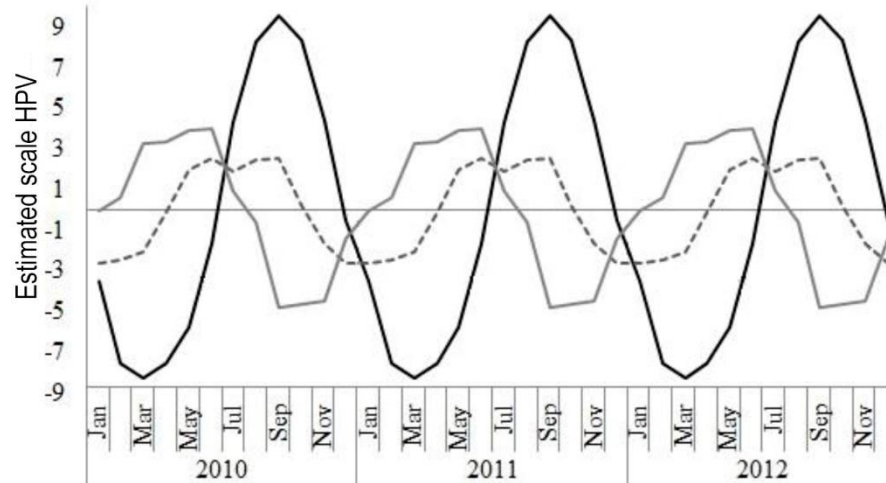


Figure 3. Harmonic pattern variations (HPV) for salinity (continuous gray line), lagoon water temperature (discontinuous gray line) and accumulate fluvial discharge (black line). The estimated range for positive cyclical anomalies was from 1 to 9, and in the case of negative cyclical anomalies, it was between -1 and -9.

When a complete postlarvae entrance cycle was divided into two sections, it was found that postlarvae entrance kept increasing while prevalent hydrological conditions were high salinity (34), a warm lagoon temperature (30°C), and low accumulate fluvial discharge inside Términos Lagoon (2,828 m³ s⁻¹) because the rainy season is just beginning (Table 1, Fig. 3). After September, postlarvae entrance decreased when prevalent hydrological conditions were low salinity (28), a moderately warm lagoon temperature (29°C) and high accumulate fluvial discharge (3,934 m³ s⁻¹) because the rainy season ends, but the river discharge from the rivers continues due to runoff (Table 1, Fig. 3).

In contrast to our study, in the available literature, divisions of a complete postlarvae entrance cycle were not taken into account. For this reason, there was confusion in documenting correlations between postlarvae entrance, salinity and lagoon water temperature. Regarding salinity, Flores-Coto *et al.* (2018) and Gómez-Ponce *et al.* (2018) did not establish conclusions. Finally, adverse to our results, they mentioned that postlarvae entrance should increase during seasonal periods of low salinity. Gracia & Soto (1990) indicated that most postlarvae entrance occurs between salinities of 22 and 34. Regarding lagoon water temperature, Gómez-Ponce *et al.* (2018) indicated that most postlarvae entrance occurs between 28.3 and 28.7°C, while Flores-Coto *et al.* (2018) documented it from 29.7 to 30.8°C. Gracia & Soto (1990) reported lagoon water temperature results similar to those obtained in this study.

It should be taken into account that in Términos Lagoon, the second postlarvae entrance episode spawned in prevalent hydrological conditions: low salinity, a warm lagoon temperature and high accumulate fluvial discharge (Fig. 3). These hydrological conditions did not favor shrimp postlarvae entrance into lagoon systems (Figs. 2-3). According to the available bibliography (Cervantes-Hernández, 1999, 2015; Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2006; Cervantes-Hernández *et al.*, 2012, 2017), these hydrological conditions are better at stimulating “lagoon recruitment” or the natural movement of shrimp postlarvae from the marine environment towards lagoon systems. For this reason, it should not be confused in which hydrological conditions lagoon recruitment occurs, and in which hydrological conditions immense postlarvae entrance occurs. Finally, in Términos Lagoon, the first postlarvae entrance episodes spawned in prevalent hydrological conditions: high salinity, warm lagoon temperature (Gracia & Soto, 1990; Flores-Coto *et al.*, 2018) and low accumulate fluvial discharge (Fig. 3).

Marine spawner abundance changes

As established, Gracia & Soto (1990) reported a higher abundance of *P. setiferus* spawners in the Campeche Bank sector from October to February. Before 1993 it was similarly reported for *P. duorarum* (Cervantes-Hernández & Gracia, 2011) and *P. aztecus* in the Madre Lagoon, Tamaulipas-Veracruz sector, México (Cervantes-Hernández, 2015) (Fig. 4). In this last sector, studies on postlarvae entrance are not docu-

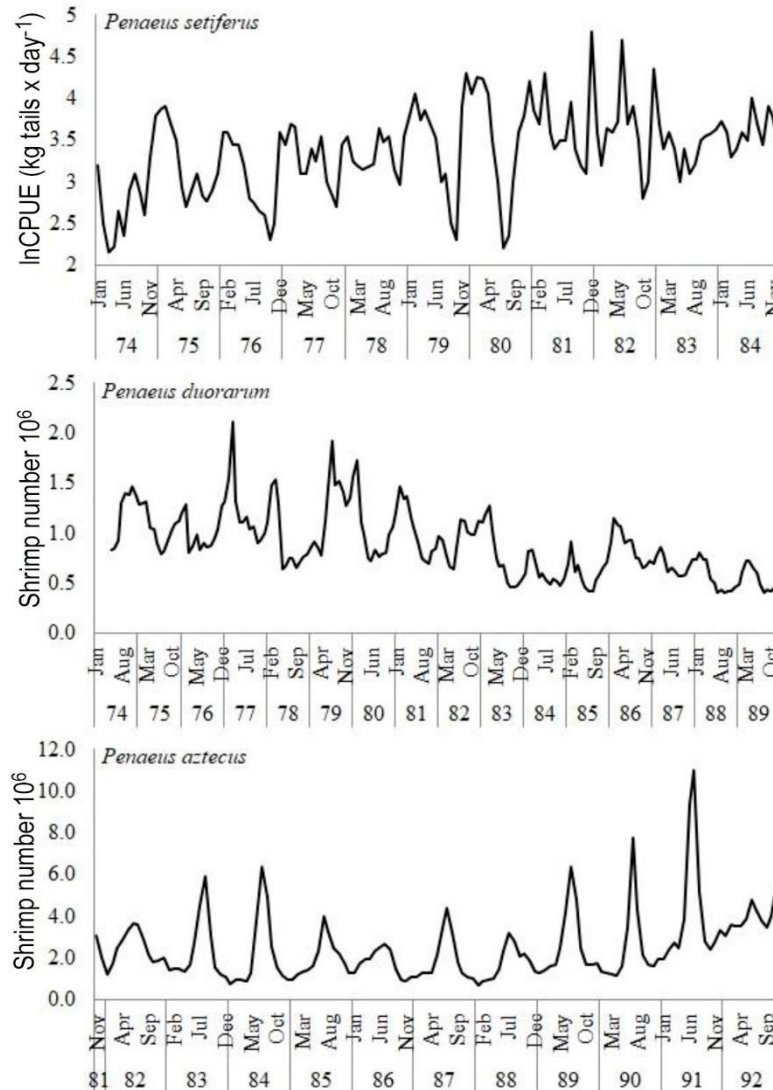


Figure 4. Three shrimp commercial catch time series. For *Penaeus setiferus* it is not known what age classes make up this information, but it was known that it included commercial categories of 10-25 tails per pound (Gracia, 1989). For *P. duorarum* commercial catch includes spawners between 8 and 16-month old (Cervantes-Hernández & Gracia, 2011). For *P. aztecus* commercial catch includes spawners between 6 and 13 month old (Cervantes-Hernández, 2015). According to Gracia *et al.* (1997), the complete life cycle of the Penaeidae shrimp family is approximately between 15 and 18 month old. Sexual maturity is generally reached between 6 and 8 month old, but the entire population is sexually mature between 10 and 12 month old.

mented. For Campeche Bank sector reports on the winter presence of *P. setiferus* and *P. duorarum*, postlarvae cohorts were not found. In this study, we did not detect a cycle winter cycle.

In conclusion, it was demonstrated that postlarvae abundance did not occur in the season of maximum reproduction (winter months of December 2011 and January-February 2012) for both shrimp species. These were the fishing seasons. To explain this, we took into account the available literature and suggested the following explanation. Since 1993, after implemen-

tation of closure seasons throughout the Gulf of México, fishing seasons have been mainly implemented from November/October to May (SAGARPA-INP, 2012) (Fig. 4) and during this time fishing efforts quickly reduce shrimp spawner abundance in marine environments. Then as an immediate result, shrimp postlarvae abundance abruptly declines. So, the indicating signal of reproductive activity that we associate with postlarvae entrance became a weak undetectable signal inside Términos Lagoon. As was established in this study, the opposite occurs during closure seasons

(from May to August with modifications until September/October), as fishing does not then affect shrimp spawner abundance, and as a result, shrimp postlarvae abundance does not collapse. So, then the indicating signal of reproductive activity can be detected inside Términos Lagoon.

Figure 4 shows the variation in the approximate number of winter shrimp spawners for *P. setiferus* (Gracia & Soto, 1990) and *P. duorarum* (Cervantes-Hernández & Gracia, 2011) from October to February. Also, a complete *P. aztecus* reproductive season spawned from November to June, with the highest spawner abundance signal during February (Cervantes-Hernández, 2015). Complementary studies conducted in the Araya Peninsula, Venezuela (Marval-Rodríguez *et al.*, 2015), and the Gulf of Ana María, Cuba (Giménez-Hurtado *et al.*, 2012), show that *Farfantepenaeus notialis* and *P. duorarum* generate winter cohorts.

Additionally, throughout the closure seasons from 1998-2002, SAGARPA-INP (2012) described the average presence of mature shrimp females in the Campeche Bank as between 10 and 33 per km². This report suggests a lower presence of mature shrimp females during closure seasons than during the fishing seasons (Fig. 4), which is consistent with the following: in the Mexican Pacific, Cervantes-Hernández (2008) reported a higher percentage of egg-laying by *F. californiensis* mature females in phase IV from October to January. Also, the lowest percentage of egg-laying by *F. californiensis* mature females in phase IV was observed from July to September. Phase IV in shrimp of the genus *Penaeus* is characterized by dark-colored mature ovaries and an empty gonadal mass (Sandoval-Quintero & Gracia, 1998).

In conclusion, it was demonstrated that the postlarvae abundance encountered in this study was not generated during the maximum reproductive seasons of both shrimp species, which should have occurred during winter when fishing seasons were implemented (Fig. 4).

Additional information on the reproductive activity of *P. aztecus* in the Tamaulipas and Veracruz sector indicates that annual reproductive seasons occur in winter oceanographic conditions of high Chl-*a* levels (>1.0 mg m⁻³) and a colder sea surface temperature (SST 21-24°C) (Cervantes-Hernández, 2015). The author mentioned that the Chl-*a* presence is relevant because the trophic chain is activated from it, and larval stages of shrimp can feed directly on phytoplankton and zooplankton biomass. So, for *P. aztecus*, a high Chl-*a* level means a greater degree of shrimp postlarvae survival due to the greater availability of its food. The aforementioned is evident from the immense shrimp

postlarvae entrance inside Madre (Tamaulipas) and Tamiahua (Veracruz) lagoons.

Similar oceanographic conditions to those in the Tamaulipas and Veracruz sectors were documented during winter in the Campeche Bank sector. Salmerón-García *et al.* (2011) documented high Chl-*a* levels (>1.0 mg m⁻³) between November and January, and low Chl-*a* levels (<1.0 mg m⁻³) between April and November (1998-2008 period). The high Chl-*a* level is associated with offshore transport caused by stronger wind during winter (like that which occurs in the Gulf of Tehuantepec), from December to January, while there is minimum wind impact in summer, from May and June (Romero-Centeno *et al.*, 2003). Also, in the Gulf of Tehuantepec during winter upwelling seasons, oceanographic conditions of high Chl-*a* levels (>1.0 mg m⁻³) and colder SST (~25-27°C) were recorded. There, during winter upwelling seasons, the highest abundance of *F. californiensis* spawners was reported (Cervantes-Hernández *et al.*, 2008). So, it should be taken into account that winter oceanographic conditions are better to stimulate spawning and increase shrimp postlarvae entrance into different lagoons. For this reason, we considered changes to closure season implementation.

We know that closure seasons are not entirely functional because Cervantes-Hernández & Gracia (2011) reported the following monthly mortality balance: natural mortality $M = 0.21$, fishing mortality $F = 0.25$, and total mortality $Z = 0.46$. The final balance was $F > M$, and based on this result, it was concluded that the population of *P. duorarum* was overfished from 1974-1989. Additionally, Cervantes-Hernández (2015) reported the following monthly mortality balance: $M = 0.20$, $F = 0.54$, $Z = 0.74$. The final balance was $F > M$, and based on this result, it was concluded that the population of *F. aztecus* was overfished from 1974 to 1995.

Taking into account documented postlarvae abundance, we did not find evidence to demonstrate that closure seasons function effectively. When the study of Gracia & Soto (1990) was conducted, fishing seasons were not delimited, and fishing efforts often affected the postlarvae abundance signal. For this reason, the authors reported lower shrimp postlarvae abundance with *P. setiferus* postlarvae dominant in all obtained samples ($4,743 \times 100 \text{ m}^{-3}$), while *P. duorarum* postlarvae were estimated at $817 \times 100 \text{ m}^{-3}$. After the implementation of closure seasons, shrimp postlarvae abundance increased, maintaining the same abundance tendencies ($41,284 P. setiferus$ postlarvae $\times 100 \text{ m}^{-3}$ and $37,558 P. duorarum$ postlarvae $\times 100 \text{ m}^{-3}$) (Flores-Coto *et al.*, 2018). Similarly, low results were obtained in this study, considering the two postlarvae entrance episodes. On the other hand, in a study conducted in the

Carmen and Machona lagoons, Tabasco, México, Flores-Coto *et al.* (2010) documented more *P. setiferus* postlarvae entrance (13,332 for 100 m⁻³) than *F. duorarum* postlarvae entrance (2,198 for 100 m⁻³).

In conclusion, the populations of *P. setiferus* and *P. duorarum* in the Campeche Bank sector have two recruitment and reproductive seasons throughout the whole year. The first occurs between the early and mid-rainy season (from June to September). The second occurs from early fall and during winter (from October to February).

ACKNOWLEDGMENTS

We thank the ICMYL UNAM for generated biological information and financing the project. We also thank UMAR for doctoral stay permission and Hernán Álvarez Guillén, Andrés Reda Deara, Alma Isabel Cima Cox, Derek J. Brockett and anonymous reviewers for comments that significantly improved the final version.

REFERENCES

- Cervantes-Hernández, P. 1999. Relaciones stock-reclutamiento del camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* (Burkenroad, 1939) en el Banco de Campeche. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 35 pp.
- Cervantes-Hernández, P. 2008. Method to obtain indices of abundance in the population of *Farfantepenaeus californiensis* from the Gulf of Tehuantepec, Oaxaca, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 43(1): 111-119.
- Cervantes-Hernández, P. 2015. Modelación de las fluctuaciones de la abundancia del camarón café *Farfantepenaeus aztecus* (Ives, 1891). Tesis Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 78 pp.
- Cervantes-Hernández, P. & Gracia, A. 2011. Análisis de la mortalidad para el camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* (Decapoda, Dendrobranchiata) del Banco de Campeche, México. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 6(2): 100-108.
- Cervantes-Hernández, P., Gómez-Ponce, M.A. & Torres-Hernández, P. 2012. Marine and lagoon recruitment of *Litopenaeus vannamei* Boone, 1931 (Decapoda: Penaeidae) in the “Cabeza de Toro-La Joya Buenavista” Lagoon System, Chiapas, México. *CICIMAR Oceanías*, 27(2): 51-58.
- Cervantes-Hernández, P., Michel-Morfín, J.E. & Gallardo-Berumen, M.I. 2016. Reproductive and recruitment seasons of the purple snail *Plicopurpura pansa* (Gould, 1853) in Oaxaca, México. *Journal of Shellfish Research*, 35(4): 993-1005.
- Cervantes-Hernández, P., Torres-Hernández, P. & Gómez-Ponce, M.A. 2017. Recruitment age of *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) (Decapoda: Penaeidae) in the Cabeza de Toro-La Joya Buenavista Lagoon System, Oaxaca-Chiapas, México. *Open Journal of Marine Science*, 7: 511-525.
- Cervantes-Hernández, P., Sánchez-Meraz, B., Serrano-Guzmán, J.S., Frías-Velasco, A., Ramos-Cruz, S. & Gracia, A. 2008. Variación interanual de la abundancia de *Farfantepenaeus californiensis* Holmes, 1900 en el Golfo de Tehuantepec. *Hidrobiológica*, 18(3): 215-226.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONA-PESCA). Data set. [http://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/informacion_estadistica_por_especie_y_entidad]. Reviewed: June 08, 2018.
- Flores-Coto, C. & Zavala-García, F. 1994. Abundancia y distribución de larvas de Bregmacerotidae (Pisces) en la Bahía de Campeche, México. *Ciencias Marinas*, 20(2): 219-241.
- Flores-Coto, C., Becerril-Martínez, J.A., Zavala-García, F., Gracia, A. & Burke, J.S. 2010. Shrimp postlarvae immigration during the high current velocity period of the flood tide in the southern Gulf of México. *Hidrobiológica*, 20(1): 1-12.
- Flores-Coto, C., Embriz-Alba, D., Gómez-Ponce, M.A., López-Martínez, J. & Sanvicente-Añorve, L. 2018. Immigration of post larvae of penaeid shrimp to Términos Lagoon, Campeche, México: 2013 annual cycle. *Open Journal of Marine Science*, 8: 522-535.
- Giménez-Hurtado, E., Alzugaray-Martínez, R., Garcés-Rodríguez, Y., Delgado-Miranda, G. & Ventura-Flores, A. 2012. Reclutamiento del camarón rosado *Farfantepenaeus notialis* (Decapoda: Penaeidae) en el Golfo de Ana María, Cuba. *Serie Oceanológica*, 10: 77-89.
- Gómez-Ponce, M.A., Flores-Coto, C., López-Martínez, J., Cruz-Sánchez, J.L. & Sanvicente-Añorve, L. 2018. Evaluation of the entry white shrimp postlarvae (Decapoda: Penaeidae) to a nursery area in the southern Gulf of México. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46(1): 166-175.
- Gracia, A. 1989. Relationship between environmental factors and white shrimp abundance in the southwestern Gulf of México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 14: 171-182.
- Gracia, A. 2004. Aprovechamiento y conservación del recurso camarón. In: Caso, M., Pisanty, M.I. & Ezcurra, E. (Eds.). *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*. SEMARNAT-Instituto Nacional de Ecología-Harte Research Institute for the Gulf of México Studies, Ciudad de México, pp. 713-725.
- Gracia, A. & Soto, L. 1990. Populations study of the penaeid shrimp of Términos Lagoon, Campeche,

- México. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, 17(2): 241-255.
- Gracia, A., Vázquez-Bader, A.R., Arreguín-Sánchez, F., Schultz-Ruiz, L.E. & Sánchez, J.A. 1997. Ecología de camarones peneidos. In: Flores-Hernández, D., Sánchez-Gil, P., Seijo, J.C. & Arreguín-Sánchez, F. (Eds.). Análisis y diagnóstico de los recursos pesqueros críticos del Golfo de México. EPOMEX Serie Científica, Campeche, pp. 127-144.
- Marval-Rodríguez, A., Altuve, D., Ramírez, I., Alió, J., Gómez, G., Cedeño, K., Martínez, F. & Ortiz, L. 2015. Crecimiento y mortalidad de *Farfantepenaeus notialis* en la costa norte de la Península de Araya, Venezuela. Zootecnia Tropical, 33(3): 193-205.
- Ramírez-Rodríguez, M., Arreguín-Sánchez, F. & Lluch-Belda, D. 2006. Efecto de la temperatura superficial y la salinidad en el reclutamiento del camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* (Decapoda: Penaeidae), en la Sonda de Campeche, Golfo de México. Revista de Biología Tropical, 54(4): 1241-1245.
- Ringo, R. & Zamora, G. 1968. A penaeid postlarval character of taxonomic value. Bulletin of Marine Science, 18: 471-474.
- Romero-Centeno, R., Zavala-Hidalgo, J., Gallegos, A. & O'Brien, J.J. 2003. Isthmus of Tehuantepec wind climatology and ENSO signal. Journal of Climate, 16: 2628-2639.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Instituto Nacional de Pesca (SAGARPA-INP). 2012. Dictamen técnico. Fundamento técnico para el establecimiento de vedas para la pesca de camarón en el Golfo de México y Mar Caribe. [https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/bol_sadetrabajo/2012/DICTAMENCAMARON2012_GM_YMC.pdf]. Reviewed: June 10, 2018.
- Salmerón-García, O., Zavala-Hidalgo, J., Mateos-Jasso, A. & Romero-Centeno, R. 2011. Regionalization of the Gulf of México from space-time chlorophyll-*a* concentration variability. Ocean Dynamics, 61: 439-448.
- Sandoval-Quintero, M.E. & Gracia, A. 1998. Stages of gonadal development in the spotted pink shrimp *Penaeus brasiliensis*. Journal of Cell Biology, 18(4): 610-685.
- Subrahmanyam, C.B. 1971. The relative abundance and distribution of penaeid shrimp larvae off the Mississippi coast. Gulf Research Reports, 3: 291-345.

Received: 29 July 2019; Accepted: 5 November 2019