

## Importancia de conocer el mecanismo de inmigración de postlarvas de camarones Penaeidae (Crustacea: Decapoda) a sistemas estuarinos de la costa oriental del Golfo de California

José Antonio Calderón-Pérez\* & Sergio Rendón-Rodríguez\*

### Resumen

**Importancia de conocer el mecanismo de inmigración de postlarvas de camarones Penaeidae (Crustacea: Decapoda) a sistemas estuarinos de la costa oriental del Golfo de California.** Se presenta una breve revisión del posible mecanismo de ingreso de las postlarvas de la familia Penaeidae a sistemas lagunares costeros y la importancia que reviste el conocer el mecanismo de dichos movimientos en relación a los diferentes parámetros ambientales que tienden a variar de manera distinta en diferentes años. Se discuten asimismo las posibles consecuencias que pudieran tener las alteraciones artificiales al patrón hidrodinámico sobre los sistemas en donde se desarrolla una fase importante de dicho recurso.

**Palabras clave:** camarones peneidos, ciclo de vida, inmigración, factores físicos, lagunas costeras, Golfo de California Oriental.

### Abstract

**Importance of knowing the immigration mechanism of penaeid shrimp postlarvae (Crustacea: Decapoda) to estuarine systems on the east coast of the Gulf of California.** A brief review is presented here on the ingress mechanism of the penaeid postlarvae into coastal lagoon systems and the importance associated to understand this mechanism in relation to the different parameters, which trend to vary unforeseeably in different years. Furthermore, there is a discussion on the possible consequences that artificial modifications to the hydrodynamic pattern may impose on the systems where an important phase of said fishing resource takes place.

**Key words:** coastal lagoons, Eastern Gulf of California, immigration, physical factors, life cycle, Penaeid shrimps.

### Introducción

¿Por qué decimos que realmente es importante que conozcamos el mecanismo por medio del cual las postlarvas (estadio de desarrollo de camarones peneidos previo al juvenil) ingresan a diversas zonas estuarinas? Esa misma pregunta la podríamos extender a otros organismos que utilizan esas áreas. Si bien es cierto que en ocasiones los estudiosos de estos fenómenos en momentos de reflexión se preguntan si los problemas a los que dedican tiempo, esfuerzo y recursos para resolverlos tienen el valor o la importancia que ellos les atribuyen desde un punto de vista aplicado o práctico, no debe ser sorpresa que un usuario

potencial de este conocimiento, que se dedique a actividades de producción, por ejemplo un pescador de camarón en el Sur de Sinaloa, por mencionar un caso, se pregunta por qué o para qué se estudian ciertos fenómenos que aparentemente no tienen la importancia o la relevancia que la comunidad científica o académica parece conferirles, concluyendo que es tal vez un desperdicio de recursos y una pérdida de tiempo ya que no ofrecen una utilidad inmediata y posiblemente nunca la tendrá. En realidad este juicio además de injusto es impreciso ya que es difícil poder determinar de antemano si un estudio, cualquiera que

\* Unidad Académica Mazatlán del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. AP 811, Mazatlán, Sinaloa, México. CP 82000  
correo electrónico: jacalder@ola.icmyl.unam.mx

este sea, por ejemplo, la determinación de un mecanismo, un patrón, una distribución, etc., tendrá alguna aplicación para el sector al que se pretende beneficiar.

No obstante los argumentos que pudieran esgrimirse para apoyar una posición y su contraria, lo cierto es que en ocasiones, los conocimientos que se generan tienden a ser expresados dentro de un formato que los científicos han establecido para su aceptación, siendo este muy riguroso, aunque por esta misma razón, su difusión se limita a un grupo muy selecto de lectores y aún cuando se hace un esfuerzo para que este conocimiento sea más accesible a los usuarios finales, es aún insuficiente. Sería por lo tanto deseable y conveniente que la comunidad que se dedica al desarrollo de la ciencia, procurara que se implemente un mecanismo para mejorar su difusión expresando el nuevo conocimiento tanto en términos y de manera más comprensible para los usuarios potenciales, enfatizando el valor de la creación de cierto conocimiento, al margen del juicio académico que sea practicado por los colegas o pares; de otra manera, el usuario potencial de este conocimiento considerará que en realidad para pescar ese recurso, no necesita saber los detalles de cómo entran las larvas a la zona de desarrollo y posteriormente de pesca pues piensa, con una aparentemente justificada lógica, que las larvas encontrarán la forma de entrar y que si se conoce o no el mecanismo que permite esa entrada, no tendrá ningún efecto sobre su actividad en particular. Efectivamente, si todos los parámetros se mantienen constantes, es posible que la entrada de postlarvas a la zona donde el pescador aprovecha este recurso no varíe de manera significativa. Sin embargo, no existe ninguna certeza de que las condiciones permanecerán constantes con el paso del tiempo o aún entre una temporada y otra, más aún si en esa zona de pesca se planea llevar a cabo una modificación que podría alterar la relativamente predecible conducta del recurso. Podríamos hablar por ejemplo de la construcción de una presa, de un rompeolas y aun de la creación de una marina en una zona cercana que definitivamente podría alterar la dinámica de las corrientes y por

tanto los patrones de inmigración. En estos casos hipotéticos entonces esa información ciertamente tendría una relevancia significativa pues al no saber cómo funciona el mecanismo, no tendrían la menor idea de cómo fue afectado el recurso que utiliza y en vista de las tendencias actuales de los desarrolladores inmobiliarios quienes prometen un desarrollo de complejos turísticos sustentables que desafortunadamente solo se queda en buenos deseos, es conveniente tener esa información para manifestar opiniones con argumentos bien fundamentados.

### **Importancia de las áreas de crianza de las formas de desarrollo tempranas**

Los cuerpos de agua costeros naturales, tales como lagunas costeras, esteros, marismas, etc., son áreas de crianza altamente selectivos por la gran variación de algunos parámetros ambientales, de gran productividad y que albergan a diversos organismos estuarinos como ha sido señalado en diferentes estudios (Turner 1979, Waldichuck 1979, Boesch & Turner 1984) y en particular para camarones de la familia Penaeidae (Kutkuhn 1962; St. Amant *et al.* 1962; Baxter 1963, Christmas *et al.* 1966, Subrahmanyam 1971, Zimmerman & Minello 1984, Gracia & Soto 1990, Minello & Zimmerman 1992, Flores *et al.* 2010).

### **¿Inmigración, ingreso o dispersión?**

Aún cuando no existe una uniformidad en la utilización de los términos para definir la entrada de organismos planctónicos, algunos autores favorecen el término inmigración (Flores *et al.* 2010) y otros simplemente se refieren a este fenómeno como ingreso (Rothlisbergh *et al.* 1995, Wenner *et al.* 1998, Blanton *et al.* 2001, ) aunque ambos se refieren al desplazamiento de algunas especies planctónicas hacia el interior de algún cuerpo de agua, ya sea laguna costera, estero o marisma. Hablando estrictamente y haciendo referencia a la acepción generalizada del término migración, en realidad no lo podemos colocar en la misma categoría de las migraciones típicas de las aves, tortugas marinas, ballenas u otras especies por diversas razones.

En términos generales, la migración es considerada como el mecanismo subyacente a la aparición y desaparición temporal de algunas especies de aves, mamíferos, peces, crustáceos e insectos en un área determinada. Para la mayoría de las personas, la migración más típica o aparente se relaciona con los pájaros y tal vez a los mamíferos. Sin embargo, muchos insectos, algunos ácaros y arañas, algunos reptiles, anfibios, crustáceos, entre otros, migran regularmente. Entonces migración puede ser definida como el movimiento en masa intencional y unidireccional de una población durante el cual los estímulos normales son ignorados. Esto permite a la migración ser distinguida de la dispersión, la que es multi-direccional y a menudo solo incluye a una parte de la población, misma que sigue los estímulos normales.

En vista de lo anterior, los movimientos de los camarones en sus etapas larvarias o postlarvarias y juveniles o subadultas, se podrían entonces catalogar como una parte del mecanismo de dispersión ya que no existe un movimiento deliberado por parte de estos crustáceos sin embargo, tampoco es un fenómeno de dispersión muy claro ya que los individuos que se desplazan no están colonizando nuevas áreas para quedarse en ese hábitat sino que una vez que alcanzan cierto tamaño, regresan a su lugar de origen para completar su ciclo biológico (Fig. 1).

Esto nos colocaría en el lugar donde empezamos; aparentemente nos haría regresar al término de inmigración, sin embargo, el componente intencional de la migración implica un propósito específico de trasladarse de un lugar a otro y este es un aspecto que ha sido discutido por diferentes autores señalando la dificultad de un desplazamiento significativo de los camarones en su etapa larvaria ya que su capacidad natatoria difícilmente les permitiría vencer las corrientes a las que se encuentran sujetos, es decir, corriente costera, deriva de Ekman, corriente litoral, corrientes de marea, etc., que se describen posteriormente.

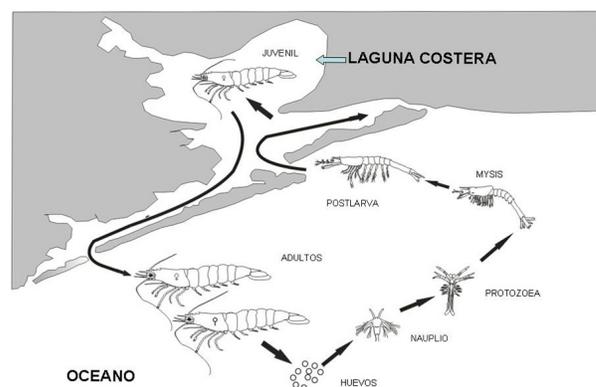
No obstante las consideraciones anteriores, varios autores se han referido a los movimientos de estos organismos como inmigración y

otros simplemente como ingreso. Al final de cuentas, la selección del término para designar a este fenómeno, en realidad no reviste tanta importancia, lo importante es conocer con el mayor detalle posible la manera como ocurre el mismo.

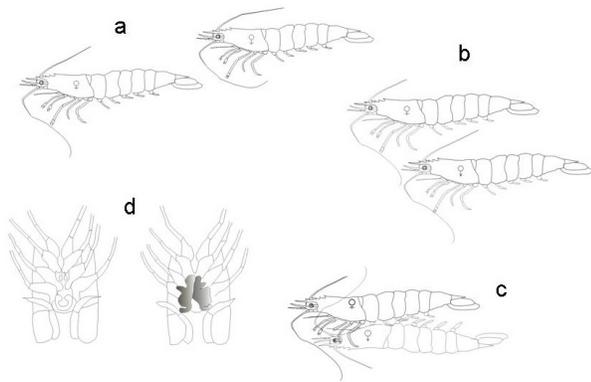
### Antecedentes de estudio de postlarvas de camarón y algunos aspectos reproductivos

En la región sur de Sinaloa, durante varios años, diversos autores han estudiado aspectos relacionados al ciclo de los camarones peneidos, en particular los del género *Litopenaeus* (Pérez Farfante 1969) que incluye a las especies *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) y *L. stylirostris* (Stimpson, 1871), camarones blanco y azul, respectivamente. Las diversas etapas de este ciclo se llevan a cabo en diferentes ambientes. Los adultos viven en el medio marino en donde al llegar la época de reproducción, generalmente en los meses más cálidos del año, después de un ritual de cortejo (Fig. 2a, b), se aparean (Fig. 2c) y los machos depositan los espermatóforos (paquetes de esperma) en el télico, localizado en la parte ventral posterior del cefalotórax de las hembras (Fig. 2d).

Una vez que ocurre el apareamiento, la hembra libera los huevos ya fecundados al ambiente y después de unas horas, estos eclosionan y aparece el primer estadio larvario de nauplio (I-V), seguido por el de protozoa (I-III), mysis (I-III) y postlarva, tal y como se muestran en la figura 1.



**Figura 1.** Esquema del ciclo de vida del camarón *Litopenaeus vannamei*. Los estadios de adulto y primeras fases larvarias transcurren en el ambiente marino en tanto que los de postlarva y subadulto en las zonas estuarinas donde experimentan un crecimiento más rápido.



**Figura 2.** Secuencia de apareamiento en *Litopenaeus vannamei*; a) persecución del macho; b) nado paralelo; c) copulación; d) adhesión del espermatóforo en el tético de la hembra. Modificado de Yano *et al.* (1988).

Cuando las larvas eclosionan, se incorporan a la columna de agua en donde se encuentran a merced de los movimientos de la masa de agua que las contiene y se moverán hacia donde se desplace la misma lo que va a determinar hacia donde van a ser transportadas. Es pertinente señalar que el sitio donde se lleva a cabo la reproducción nos dará una idea aproximada de cuales son los movimientos de agua que van a tener un efecto mayor en el transporte de dichos organismos. Pérez-Farfante (1988) señala que la distribución de *Litopenaeus vannamei* se encuentra en el intervalo de profundidades desde someras en aguas estuarias hasta 72 metros en aguas marinas en tanto que Hendrickx (1996) hace mención a la amplia distribución de esta especie en diferentes reportes al mismo tiempo que señala que la profundidad de sus capturas varió entre 30 y 34 m. Calderón *et al.* (2007) encontraron hembras con espermatóforos adheridos al esternón, es decir, hembras “parchadas”, tal y como se muestra en la figura 2d, a profundidades entre 20 y 30 metros lo que ubica a los primeros estadios larvarios a esas profundidades, relativamente cercanos a la costa.

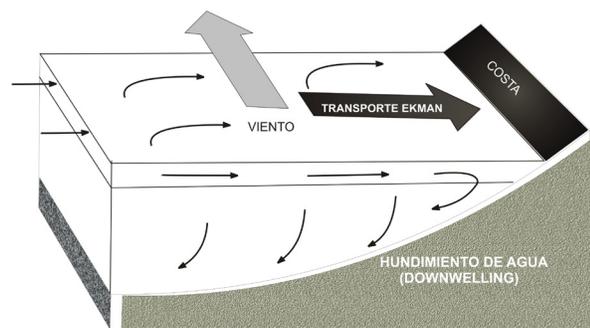
### Corrientes que influyen en el desplazamiento de las postlarvas

Con relación al transporte por advección, Carbajal (1995) señala que durante el verano, los vientos del sureste, que predominan en razón de la configuración de la zona debido a la orientación de las cadenas montañosas

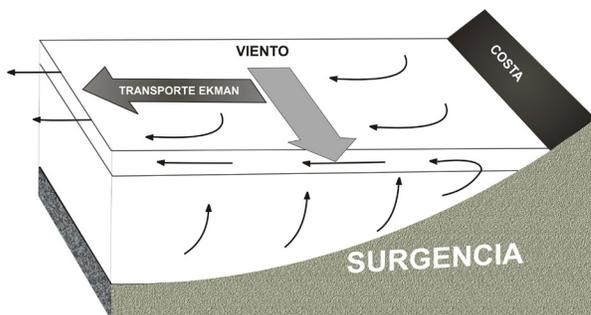
que flanquean al Golfo de California (Lavín & Marinone 2003), en el intervalo de profundidades de 0 a 20 metros causan un desplazamiento hacia el este y noreste, es decir, hacia la costa, lo que es resultado de la deriva de Ekman (Fig. 3). Este movimiento de agua, claramente transporta a las larvas hacia el litoral y por ende en la dirección de los cuerpos de agua interiores. Carbajal (1995) indica asimismo que cuando el viento sopla del noroeste, como ocurre en los meses más fríos, esto es, finales de otoño, invierno y parte de la primavera, la dirección de las masas de agua de la capa de mezcla es hacia el oeste, de nuevo consistente con la deriva de Ekman (Fig. 4); en este caso, hay registros de larvas transportadas lejos del litoral y de las aguas interiores que no se detectan o son menos numerosas cuando el viento sopla del sureste (Villarreal 1989, Escalante 2001).

Rothlisberg *et al.* (1995) propusieron un mecanismo para el acercamiento de las postlarvas hacia la costa este de Australia y de manera similar, Wenner *et al.* (1998) proponen un modelo similar para la costa de Carolina del Sur, EUA señalando el papel de las corrientes generadas por las mareas y los vientos.

A pesar de la noción generalizada de que el transporte de postlarvas es un fenómeno simple, en realidad es un evento complicado puesto que involucra a más de un factor, ya sea simultáneamente o en serie como lo mencionan algunos autores (Rothlisberg *et al.* 1995, Wenner *et al.* 1998, Blanton *et al.* 2001, Criales *et al.* 2005, Criales *et al.* 2011) quienes sugieren incluso que existe una interacción entre



**Figura 3.** Esquema del transporte de Ekman hacia la costa cuando el viento sopla del sur y el agua se acumula hacia las regiones más someras presentándose un hundimiento de la misma (downwelling)



**Figura 4.** Esquema del transporte de Ekman lejos de la costa cuando el viento sopla del norte y el agua se acumula hacia las regiones más profundas presentándose como resultado una surgencia (upwelling)

los movimientos verticales de las postlarvas que se acoplan con las mareas y las corrientes generadas por el viento. Hughes (1969a, b) sugiere que el transporte por las corrientes de marea lo seleccionan las postlarvas por medio de su sincronización con los cambios de salinidad en la columna de agua, es decir, al aumentar la salinidad con el flujo, las postlarvas se activan y de esa manera son acarreadas hacia dentro del sistema; otro estímulo sugerido es la presión hidrostática, esto es, el aumento de la presión hidrostática causada por el flujo activa a las postlarvas que son acarreadas hacia adentro del sistema por la masa de agua marina (Forbes & Benfield 1986, Rothlisberg *et al.* 1995) por otro lado, también sugieren que los cambios en temperatura y salinidad asociadas a frentes fríos actúan como estímulos en combinación con los movimientos migratorios verticales circadianos para facilitar el transporte. De manera similar, se ha sugerido que un posible mecanismo de transporte hacia las zonas de crianza sería la interacción entre la mencionada migración vertical circadiana con las corrientes de marea y aquellas creadas por el forzamiento del viento (Rothlisberg *et al.* 1995, Wenner *et al.* 1998, Blanton *et al.* 2001). Blanton *et al.* (1999, 2001) afirman que existe una condición inevitable respecto al transporte de las postlarvas hacia las zonas de crianza y esta es que se necesita tener una población de larvas y/o postlarvas disponibles para su acarreo en una zona que se encuentre ubicada a menos de 5 km de la costa y una vez que los estadios larvarios más desarrollados se encuentran cerca del litoral ya se encuentran en posibilidad de penetrar hacia el interior de

los cuerpos de aguas interiores, ya sea esteros, marismas o lagunas costeras.

### Otros factores que pueden influenciar el ingreso de postlarvas a zonas estuarinas

Algunas teorías que tratan de explicar dicho mecanismo de entrada, recurren a enfoques experimentales para probar el papel de un determinado factor. Una de esas teorías afirma que las postlarvas toman como estímulo conductual las diferencias de salinidad, es decir que las postlarvas se orientan hacia las aguas que tienen una salinidad menor a través de un gradiente, esto fue observado por Keiser & Aldrich (1973, 1976) en las especies de camarón *Litopenaeus setiferus* (Linnaeus 1767) (blanco) y *Farfantepenaeus aztecus* (Ives 1891) (café) del Golfo de México. De manera similar, Mair (1981), realizó un experimento parecido con las cuatro especies de camarón del golfo de California, esto es, blanco, azul, café y cristal, *Litopenaeus vannamei*, *L. stylirostris*, *Farfantepenaeus californiensis* y *F. brevirostris*, respectivamente utilizando un dispositivo similar al de Kaiser y Aldrich (1976) para determinar la preferencia de las postlarvas con respecto a aguas de diferente salinidad y obtuvo resultados semejantes a los reportados por aquellos autores, esto es, que existe una preferencia de las postlarvas de ambas especies de camarón blanco (*L. setiferus* y *L. vannamei*) hacia las aguas de baja salinidad a través de un gradiente, sugiriendo asimismo que el estímulo del agua estuarina con sus olores y sabores particulares es un atrayente más poderoso aún que la disminución de la salinidad; sin embargo, este mismo autor señala que inicialmente, las postlarvas de *L. vannamei* eran renuentes a moverse hacia los niveles superiores (de menor salinidad) y lo hacían solo después de transcurrido cierto tiempo. Similarmente, Benfield & Aldrich (1992) determinaron experimentalmente una preferencia al agua estuarina en la Bahía de Galveston, Texas. En esencia, lo que proponen es que la baja salinidad o las propiedades químicas del agua estuarina son un estímulo que atrae a las postlarvas hacia al origen de ese estímulo, es decir, la boca del río o entrada al estuario y una vez ubicadas en esa posición, son introducidos

hacia el interior del estero, marisma o laguna costera por la acción de la corriente generada por el flujo de marea. Macías Regalado (1986) sugiere que la diferencia de temperatura entre las aguas estuarinas y el mar adyacente es un factor de orientación de las postlarvas hacia el interior de dichos cuerpos de agua, de manera similar a los sugeridos para la salinidad, presión y materiales disueltos en el agua estuarina. En resumen, todo lo anterior sugiere que las bocas de los ríos actúan como atrayentes para ciertas especies, debido a algunas propiedades del agua estuarina que resultan atractivas a estos organismos. Esta suposición se basa probablemente en el hecho de que se ha observado que las mayores concentraciones de las mismas se presentan alrededor de las bocas de los ríos, sin embargo, esta mayor abundancia de postlarvas en esas zonas no se debe necesariamente a una conducta deliberada de orientación hacia estas zonas, pudiera deberse a una causa diferente, como se discute a continuación.

### Orientación positiva contra orientación negativa

La inconsistencia de los planteamientos de atracción u orientación radica en que si las postlarvas se orientan positivamente hacia las aguas de características estuarinas o de aguas interiores ya sea por su composición química o por su temperatura y estas aguas están saliendo hacia el mar por efecto de la bajamar, condición necesaria ya que de otra manera no tendrían la capacidad de orientar en la dirección de las aguas interiores, entonces cuando las postlarvas entran en contacto con esas aguas "especiales", al incorporarse a las mismas se dirigirían hacia donde éstas viajan, que será hacia cualquier otra parte menos hacia los cuerpos de agua interiores, es decir, regresarían al mar, a menos que tuvieran una orientación negativa inicial que los alejaría del agua estuarina como lo observó Mair *et al.* (1982). Si dicha orientación fuera negativa, esto explicaría como las postlarvas evitan ser llevadas hacia fuera del sistema estuarino tal y como lo señalan Macías *et al.* (1982) quienes reportan mayor cantidad de postlarvas en la superficie que en el fondo durante el flujo y lo opuesto ocurre en el reflujó. Esto significa

que las postlarvas se dirigen hacia el fondo cuando la salinidad empieza a disminuir, o cuando experimentan un cambio de temperatura, o cuando la presión hidrostática disminuye, evitando de esa manera ser llevados hacia fuera del sistema estuarino (Fig. 5).

### Acumulación de postlarvas alrededor de las bocas de sistemas estuarinos

En lo que respecta a la acumulación en ciertas áreas de la costa, Rothlisberg *et al.* (1995) reportan que las postlarvas de *Penaeus plebejus* (Hess, 1865) en Australia, se encuentran más concentradas cerca de la boca del río Nerang, que mar adentro y cruzan la misma dentro de las primeras horas del flujo de marea. Ellos sugieren que la concentración de postlarvas en la entrada y dentro del estuario es una respuesta al atrapamiento de las postlarvas por los movimientos de marea, es decir, una vez dentro del mismo, ya no se escapan y la forma como son transportados hacia adentro es por el cambio (switch) de respuesta al estímulo, esto es que en mar abierto el estímulo de orientación es la luz pero una vez dentro de la dinámica de la marea, la presión es el estímulo que los hace orientarse de tal forma que se desplazan hacia dentro del sistema estuarino; también mencionan que en el campo de velocidades de marea, los mayores valores se encuentran en los estrechamientos como los canales, entonces la influencia de ésta es mayor conforme las postlarvas se acercan a la costa. Esto es particularmente evidente en los canales que conectan un cuerpo de agua costero con el mar. Calderón & Poli (1987) concluyeron que la cantidad de postlarvas que entran al sistema estuarino del complejo

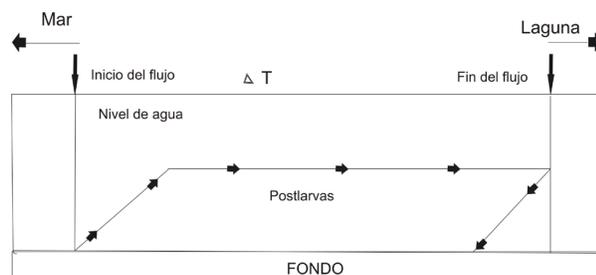
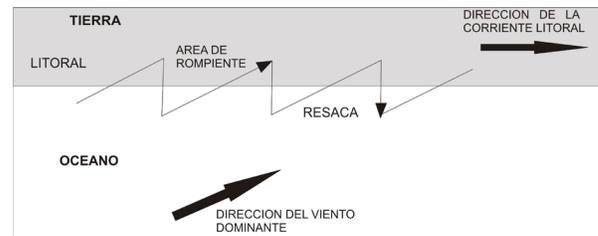


Figura 5. Diagrama del ingreso y retención hipotética de postlarvas de camarón *Litopenaeus* en un canal de acceso a una laguna costera. Modificado de Macías Regalado (1986).

lagunar Caimanero-Huizache a través de la Boca del Río Baluarte, es significativamente mayor durante el primer tercio de marea que en los otros dos tercios, que es una conclusión similar a la mencionada por Rothlisberg *et al.* (1995).

Los planteamientos anteriores, explican como las postlarvas son llevadas hacia la costa por la deriva de Ekman cuando el viento sopla de la dirección adecuada y una vez dentro de la zona de influencia de marea, son entonces llevadas hacia dentro del sistema estuarino dentro del cual operan mecanismos de orientación o evasión de ciertos estímulos para poder permanecer en ese medio o penetrar hasta poblar todas las áreas habitables del mismo. Sin embargo, aun falta explicar el paso intermedio que es la acumulación de las postlarvas en la boca de un sistema estuarino y su posterior ingreso.

Calderón & Poli (1987) encontraron que las postlarvas se encuentran a lo largo de la costa, fuera de las lagunas costeras, y no exclusivamente frente a las bocas de los ríos, aunque bajo ciertas circunstancias, las mayores densidades se encuentran ahí. Ellos sugieren que las postlarvas que son llevadas por la deriva de Ekman y las corrientes de marea desde las zonas de desove hacia las aguas estuarinas, no lo hacen de manera directa, es decir, la corriente que lleva a las postlarvas hacia la costa no está orientada en su mayoría hacia las bocas de aquellos sistemas como un embudo, sino que aquellas serían distribuidas de manera aleatoria a lo largo de la costa. Una vez que llegan a la zona litoral, las postlarvas son acarreadas a lo largo de la misma por acción de la corriente litoral (Fig. 6) que resulta de la intensidad y dirección del oleaje (Meadows & Campbell 1978, Montaña 1985). Si el transporte litoral no es interrumpido, las postlarvas seguirían siendo llevadas hasta que encontrarán una discontinuidad en el transporte que las situaría ante tres posibilidades que dependerían de la naturaleza de la misma: (1) si es una corriente que se dirige hacia el interior del sistema estuarino, propiciado por el flujo de marea, entonces las postlarvas serán llevadas hacia el interior de dicho sistema; (2) si existe una contracorriente (rip current), entonces las postlarvas serán llevadas hacia mar adentro,

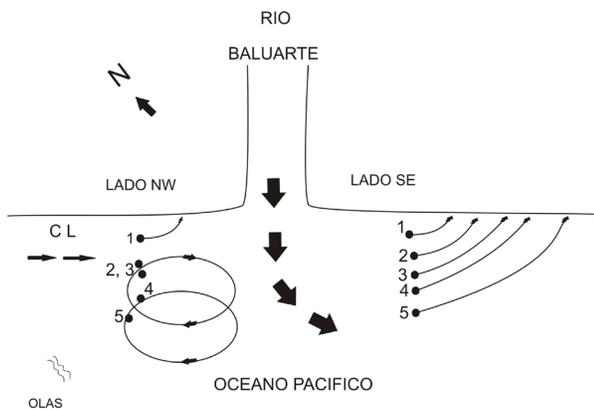


**Figura 6.** Esquema que muestra el origen de la corriente litoral y su dirección. Cuando la dirección del viento es opuesta, la dirección de la C.L. también viaja en sentido contrario.

lejos de la costa; esto podría ser causado por alguna barrera física, una interrupción de una barra sumergida, un espigón o un cambio en la batimetría, etc. (Meadows & Campbell 1978); y (3) si existiera una barrera temporal cíclica que interrumpiera durante cierto período el progreso de la corriente litoral, es decir, una barrera hidrodinámica tal y como es el prisma de marea en reflujó con la suma de las aguas continentales (Calderón & Poli 1987).

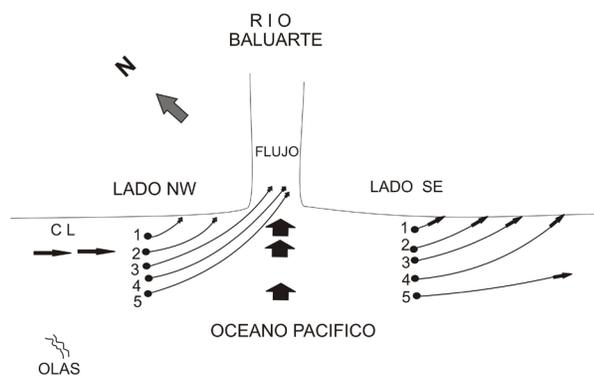
En el último caso, al ser interrumpido el transporte de las postlarvas a lo largo del litoral, estas se empiezan a acumular en el lado de donde proviene la corriente litoral o alrededor de la boca de donde fluye la marea en reflujó, tal y como se ilustra en la figura 7. Una vez que se produce el cambio de marea de reflujó a flujo, las postlarvas acumuladas son transportadas hacia el interior del sistema estuarino, como se ilustra en la figura 8. Una evidencia de la acumulación de postlarvas durante el reflujó es proporcionada por la mayor concentración de las mismas durante la primera parte del flujo (Calderon & Poli, 1987, Rothlisberg *et al.* 1995, Flores *et al.* 2010) al compararse con la fracción o fracciones posteriores del período.

Una vez que las postlarvas entran al sistema estuarino, son transportadas por el flujo de marea hasta donde los lleve la masa de agua acarreada por el mismo. Si las postlarvas son llevadas solamente hasta la mitad del camino y estén expuestas a ser regresadas al mar por el reflujó cuando cambia la marea, entonces puede operar el sistema de evasión al agua estuarina de baja salinidad, como lo observaron Macías *et al.* (1982) cuando detectaron más postlarvas de camarón cerca del fondo en el reflujó, indicando que estos organismos estaban evitando el agua estuarina de menor



**Figura 7.** Esquema que muestra la interrupción de la corriente litoral por la barrera hidrodinámica originada por el reflujo que sale de la Boca del Río Baluarte, que causa la acumulación de postlarvas del lado NW (Modificado de Calderón y Poli, 1987).

salinidad que los llevaría fuera del sistema, de nuevo hacia el mar. La manera como podrían regresar a la columna de agua y ser llevados aun mas hacia adentro, podría ser el mecanismo de detección de mayor presión sugerido por Forbes & Benfield (1986) y Rothlisberg *et al.* (1995), que acompaña al inicio del flujo, o bien la detección de un aumento en la salinidad debido a la entrada de agua marina a causa del flujo. Welsh & Forward (2001) detectaron en las megalopas de la jaiba *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) un notable incremento en la actividad natatoria cuando experimentaban un aumento en la salinidad y una mayor turbulencia, que caracteriza al período de flujo; cuando la salinidad descendía al igual que la turbulencia, la actividad natatoria de las megalopas disminuía considerablemente y se



**Figura 8.** Esquema que muestra el flujo de marea que penetra por la Boca del Río Baluarte, transportando las postlarvas que se habían acumulado en el lado NW, además de las que provienen de otros sitios. (Modificado de Calderón y Poli, 1987).

dirigían al fondo, evitando de esa manera ser llevadas de regreso, que es similar a lo observado por Macías *et al.* (1982) en postlarvas de peneidos, quienes encontraron que eran mas abundantes en el fondo que cerca de la superficie en el reflujo y lo opuesto en el flujo.

## Conclusiones y recomendaciones

A manera de conclusiones, podemos decir que para que se produzca el ingreso de las postlarvas de camarón a los sistemas estuarinos en el sureste del Golfo de California, se deben combinar varios factores;

1. Una condición inicial es que los desoves deben llevarse a cabo en una región cercana a los sistemas estuarinos a donde van a ingresar las postlarvas, esto es a menos de 5 km.
2. Mientras está ocurriendo el desarrollo larvario, la dirección del desplazamiento de las masas de agua debe ser hacia tierra, esto es, el viento debe soplar en una dirección general del sur para que, dada la fisiografía que flanquea al Golfo, su dirección sea hacia el noroeste, lo que debido a la deriva de Ekman, causa el transporte de agua y por ende de las larvas en dirección a la costa.
3. Una vez que las postlarvas se encuentran cerca del litoral, entran a la influencia o bien de las fuertes corrientes de marea, si su desplazamiento las llevó cerca de una boca en donde el campo de velocidades es mayor, o a la de la corriente litoral, que las transportará hacia el noroeste o hacia el sureste dependiendo de la dirección del oleaje. Al ser transportadas por la corriente litoral, pueden viajar ininterrumpidamente hasta que entran a la influencia de las corrientes de flujo de la marea y penetran directamente al sistema estuarino o encuentren el obstáculo que representa la corriente de marea en reflujo que les impide proseguir su camino así como entrar al sistema estuarino por lo que se acumulan alrededor de esas zonas. Una vez que cambia la marea a flujo, las postlarvas son acarreadas hacia el interior del sistema estuarino.

4. Ya dentro del sistema estuarino, las postlarvas pueden ser transportadas a las áreas que les son propicias para desarrollarse hasta el estadio de juvenil o se pueden quedar a medio camino. Para evitar ser arrastradas de regreso al océano por el reflujó, las postlarvas se desplazan hacia el fondo en donde permanecen hasta cuando cambia de nuevo la marea a flujo. El mecanismo que les permite moverse en la columna de agua al cambio de marea puede ser la variación de la salinidad, la presencia o ausencia de sustancias propias del agua estuarina, o la presión hidrostática que resulta del cambio de altura de la marea.

La utilidad de este conocimiento resulta evidente cuando consideramos que el sistema estuarino o el litoral puede estar sujeto a cambios en su estructura, tanto por causas naturales (huracanes, escurrimientos excesivos, etc) como por efecto de alguna obra de ingeniería que podría causar un impacto negativo en estas zonas, especialmente cuando los autores de tales cambios no se han percatado del alcance de su impacto o en el peor de los casos, no les interesa.

Por otro lado, haciendo referencia a los cambios que se realizan en el área, es importante mencionar que el modelo de entrada y salida del flujo de marea al sistema a través de la Boca del Río Baluarte al que se hace referencia particular, se hizo considerando la situación que prevalecía previo a la modificación de la misma por la escollera que se construyó y que tiene la entrada orientada hacia el noroeste. Seguramente la hidrodinámica es muy diferente y será necesario hacer un nuevo estudio para ver de que manera este cambio está afectando a la hidrodinámica y en consecuencia, a la inmigración de postlarvas y de otros organismos que utilizan a las aguas estuarinas como refugio.

Como puede verse, aún cuando las ideas vertidas aquí, tienen la intención de explicar el mecanismo de entrada de las postlarvas basadas en estudios realizados en diferentes zonas, aún quedan muchas dudas por resolver en la elucidación de los diferentes pasos o etapas

discutidas en la comprensión de este mecanismo en cada zona en particular y se vuelve un problema particularmente importante cuando observamos que se están cambiando las condiciones de los sistemas costeros sin tomar en cuenta cómo van a ser afectadas las áreas tradicionalmente productivas. Hay que recordar que lo que se obtiene por pesca de los cuerpos de agua interiores, no son los únicos organismos que crecen o se desarrollan ahí; al menos en una etapa de su vida, hay otros que después de un período de aprovechamiento de las bondades de estos sistemas estuarinos pueden emigrar e incorporarse a las pesquerías de altamar y si alteramos las condiciones necesarias para el desarrollo saludable de esas especies, todos vamos a sufrir las consecuencias de esa irresponsabilidad que atiende únicamente a las consideraciones monetarias particulares.

## Referencias

- Baxter, K. N. 1963. Abundance of postlarval shrimp one index of future shrimping success. Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute 15th Annual Session November 1962: 79-81.
- Benfield, M.C. & D.V. Aldrich. 1992. Attraction of postlarval *Penaeus aztecus* Ives and *P. setiferus* (L.) (Crustacea: Decapoda: Penaeidae) to estuarine water on a laminar-flow choice chamber. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 156(1): 39-52.
- Blanton, J.O., F.E. Werner, A. Kapolnai, B.O. Blanton, D. Knott & E.L. Wenner 1999. Wind-generated transport of fictitious passive larvae into shallow tidal estuaries. Fisheries Oceanography 8(2): 210-223.
- Blanton, J.O., P.G. Verity, J. Amft, E.L. Wenner, C.A. Barans, D.M.B. Knott, W. Stender & S.B. Wilde. 2001. Key factors influencing transport of white shrimp postlarvae in southeastern U.S. estuaries. Final Report to Georgia Sea Grant Program and South Carolina Sea Grant Consortium. 42 pp.
- Boesch D.F. & Turner R.E. 1984. Dependence of fishery species on salt marshes: The role of food and refuge. Estuaries 7(4A): 460-468.
- Calderón-Perez, J.A. & C.R. Poli. 1987. A Physical approach to the postlarval *Penaeus* immigration mechanism in a Mexican coastal lagoon (Crustacea: Decapoda: Penaeidae). Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México 14(1): 147-156.
- Calderón-Perez, J.A., S. Rendón-Rodríguez & R. Solís Ibarra. 2007. Daily cycle and body characteristics of mating *Litopenaeus vannamei* shrimp (Decapoda: Penaeidae) in the wild off southern Sinaloa, Mexico. Biología Tropical 55(1): 189-198.

- Carbajal, P. J.N. 1995. Modelling of the circulation in the Gulf of California. Ph.D. Thesis. Institute of Oceanography, University of Hamburg, 166 pp.
- Christmas, J. Y., G. Gunter & P. Musgrave. 1966. Studies of annual abundance of postlarval penaeid shrimp in the estuarine waters of Mississippi as related to subsequent commercial catches. *Gulf Research Reports* 2(2):177-212
- Criales, M. M., J. Wang, J. A. Browder & M. B. Robblee. 2005. Tidal and seasonal effects on transport of pink shrimp postlarvae. *Marine Ecology Progress Series* 286:231-238.
- Criales, M.M., M. B. Robblee, J. A. Browder, H. Cardenas & T. L. Jackson. 2011. Field Observations on Selective Tidal-Stream Transport for Postlarval and Juvenile Pink Shrimp in Florida Bay. *Journal of Crustacean Biology*. 31(1): 26-33.
- Escalante, E. E. 2001. Distribución y abundancia de postlarvas de los géneros *Farfantepenaeus* spp. y *Litopenaeus* spp. (Crustacea: Decapoda: Penaeidae) en la plataforma continental del sur de Sinaloa, durante un ciclo anual. Tesis de Maestría, UACPyP, CCH, UNAM 158pp.
- Flores-Coto, C., J.A. Becerril-Martínez, F. Zavala, García, A. Gracia G. & J.S. Burke. 2010. Shrimp postlarvae immigration during high current velocity period of the flood tide in the Southern Gulf of Mexico. *Hidrobiológica* 19(3):1-12.
- Forbes, A.T. & M.C. Benfield. 1986. Tidal behavior of post-larval penaeid prawns (Crustacea: Decapoda: Penaeidae) in a southeast African estuary. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 102(1):23-34.
- Gracia, A. & L.A. Soto. 1990. Populations study of the penaeid shrimp of Terminos Lagoon, Campeche, Mexico. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México* 17(2): 241-256.
- Hendricks, M.E. 1996. Los camarones Penaeoidea Bentónicos (Crustacea: Decapoda: Dendrobranchiata). CONABIO-Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. 149 pp.
- Hughes, D.A. 1969a. On the mechanism underlying tide-associated movements of *Penaeus duorarum* Burkenroad. *FAO Fisheries Report* 57: 867-874
- Hughes, D.A. 1969b. Responses to salinity change as a tidal transport mechanism of pink shrimp, *Penaeus duorarum*. *Biological Bulletin* 136(1):43-53.
- Keiser, R.K. & D.V. Aldrich. 1973. A gradient apparatus for the study of salinity preference of small benthic and free swimming organisms. *Contributions in Marine Science* 17:153-162.
- Keiser, R.K. & D.V. Aldrich. 1976. Salinity preference of Postlarval brown and white shrimp (*Penaeus aztecus* and *P. setiferus*) in gradient tanks. Dept. of Wildlife and Fisheries Science Publication, Texas Agricultural Experimental Station, TAMU-SG-75-208, 260 pp.
- Kutkuhn, J.H. 1963. Expanded research on the Gulf of Mexico shrimp resources. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute 15th Annual Session November 1962*: 15: 65-77.
- Lavin, M.F. & S.G. Marinone. 2003. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. *In: Velasco Fuentes et al.* (eds.), *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*, 173-204. Kluwer Academic Publishers.
- Macías Regalado, E. 1986. Procesos de reclutamiento en camarones peneidos del Pacífico Mexicano. IOC/FAO Workshop on Recruitment in Tropical Coastal Demersal Communities. Ciudad del Carmen, Campeche, México, 21-25 de abril 1986. Workshop Report No. 44 – Supplement: 249-255.
- Macías Regalado, E, H. Fernández Pérez y A. Calderón Pérez. 1982. Variación diurna de la densidad de postlarvas de camarón, en la boca del sistema lagunar Huizache-Caimanero Sin., México. (Crustacea: Decapoda: Penaeidae). *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México* 9(1): 381-386.
- Mair, McD. J. 1980. Salinity and water-type preferences of four species of postlarval shrimp (*Penaeus*) from West Mexico. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 45(1):69-82.
- Mair, McD.J., J.L. Watkins & D.I. Williamson. 1982. Factors affecting the immigration of postlarval penaeid shrimp into a Mexican lagoon system. *Oceanologica Acta, 1986 SP. Proceedings International Symposium on Coastal Lagoons, SCOR/IABO/UNESCO, Bordeaux, France, 8-14 September, 1981.* 339-345.
- Meadows, P.S. & J.I. Campbell. 1978. *An introduction to Marine Science*. Blackie. London. 176 pp.
- Minello, T.J. & R.J. Zimmerman. 1992. Utilization of natural and transplanted Texas salt marshes by fish and decapod crustaceans. *Marine Ecology Progress Series*. 90:273-285.
- Montaño Ley, Y. 1985. Estudio del transporte litoral de arenas en Isla de la Piedra, Mazatlán, Sin., usando trazadores fluorescentes. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México* 12(1): 15-32.
- Pérez Farfante I. 1988. Illustrated key to penaeoid shrimps of commerce in the Americas. U.S. Dept. Comm. NOAA. Tech. Rep. NMFS. 64: 1-32
- Rothlisberg, P.C., J.A. Church and C.B. Fandry. 1995. A mechanism for Near-shore Concentration and Estuarine Recruitment of Post-larval *Penaeus plebejus* Hess (Decapoda, Penaeidae). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 40(2):115- 138.
- St. Amant, I.S., K.C. Corkum & J.G. Broom. 1962. Studies on growth dynamics of the brown shrimp, *Penaeus aztecus*, in Louisiana waters. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute 15th Annual Session November 1962*: 14-26, 8 figs

- Subrahmanyam, C.B. 1971. The relative abundance and distribution of penaeid shrimp larvae off the Mississippi coast. *Gulf Research Reports* 3(2): 291-339.
- Turner, R.E. 1979. Louisiana coastal fisheries and changing environmental conditions. *In*: J. Day Jr., D.F., Culley Jr., P.E., Turner & Mumphrey Jr. A.J. (eds.), Third Coastal Marsh and Estuarine Management Symposium. Division of Continuing Education Baton Rouge, 363-370 pp.
- Villarreal, F. D. 1989. Estudio de la distribución y abundancia de postlarvas de *Penaeus* (Crustacea: Decapoda: Penaeidae) en la plataforma continental del sur del Estado de Sinaloa, México. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, 118 pp.
- Waldichuck, M. 1979. Ecosystem Protection in Coastal Area Development. Part 1. Classification of Coastal Areas. *In*: Workshop on Coastal Area Development and Management in the Caribbean Region. IOC Workshop Report 1979. 26: 1-29.
- Welsh, J.M. & R.B. Forward. 2001. Flood tide transport of blue crab *Callinectes sapidus* postlarvae: behavioral responses to salinity and turbulence. *Marine Biology* 139(5): 911-918.
- Wenner, E.L., D.M. Knott, J.O. Blanton, C.A. Barans & J. Amft. 1998. Roles of tidal and wind generated current in transporting white shrimp (*Penaeus setiferus*) postlarvae through a South Carolina (USA) inlet. *Journal of Plankton Research* 20(12):2333-2356.
- Zimmerman, R.J. & T.J. Minello. 1984. Densities of *Penaeus aztecus*, *P. setiferus* and other natant macrofauna in a Texas salt marsh, *Estuaries* 7:421-433.

**Recibido:** 8 de diciembre de 2011

**Aceptado:** 10 de abril de 2014