

Research Article

Un estudio de caso en el análisis de la distribución de frecuencias de tallas de *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) mediante el uso de estimadores de densidad por Kernel

Gustavo Rivera-Velázquez¹, Isaías Salgado-Ugarte², Luis Soto³ & Eduardo Naranjo⁴

¹Laboratorio de Acuicultura. Escuela de Biología. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas Libramientos Norte S/N, Colonia Caleras Maciel, CP. 29039, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

²Laboratorio de Biometría y Biología Pesquera. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

³Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México Ciudad Universitaria México, D.F.

⁴El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México

RESUMEN. Se presenta el uso del estimador de densidad por Kernel (EDK), como una herramienta moderna para analizar la distribución de frecuencia de tallas de *Litopenaeus vannamei* en su etapa estuarina. Los datos fueron obtenidos en 22 sitios de muestreo dentro del sistema lagunar-estuarino Carretas-Pereyra, a intervalos mensuales entre marzo 2004 y agosto 2005 abarcando las dos épocas del año; estío y precipitación. El camarón fue capturado con atarraya (esparavel) de cuatro metros de diámetro y malla de 10 mm. La distribución de cada muestra fue analizada mediante EDKs, usando la función ponderal gaussiana y la amplitud de banda bootstrap. Los valores de las modas dominantes en el tiempo fueron ajustados a la función de crecimiento de von Bertalanffy. Los resultados sugieren un reclutamiento continuo al área de pesca pero con pulso bimodal. La tasa media de crecimiento del camarón fue igual en ambas estaciones climáticas. Los parámetros estimados son similares a los registrados en investigaciones previas por otros autores para la especie en sistemas cercanos. El estudio muestra como el uso de los EDKs seguidos por un método de análisis del crecimiento (en este caso se empleo el análisis de la progresión modal), es un camino objetivo y preciso para el estudio de la distribución de frecuencias de tallas y su aplicación en la estimación de parámetros importantes en la dinámica poblacional de especies de importancia pesquera.

Palabras clave: frecuencia de tallas, estimadores de densidad por kernel, crecimiento, progresión modal, dinámica poblacional, México.

A case study of length frequency distribution analysis of *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) using kernel density estimators

ABSTRACT. This paper, introduces the use of kernel density estimators (EDK's) as a modern tool for examining the length-frequency distribution of *Litopenaeus vannamei* in its estuarine stage. The data were obtained monthly at 22 sampling sites in the Carretas-Pereyra lagoon-estuarine system, from March 2004 to August 2005, covering both seasons of the year: dry and rainy. Shrimp were caught with a 4 m diameter cast net of 10 mm mesh size. The size distribution of each sample was analyzed by means of EDK's, using the Gaussian weight function and the bootstrap bandwidth. The values of the dominant modes over time were fitted to a von Bertalanffy growth function. The results suggest continuous recruitment to the fishing area, albeit with a bimodal pulse. The mean growth rate of the shrimp is the same in both climatic seasons. The estimated parameters are similar to those registered in previous research by other authors for *L. vannamei* in nearby systems. The study illustrates how the use of the EDK's followed by a method of growth analysis herein, we use modal progression analysis is an objective and precise way to investigate length-frequency

distribution and its application in the estimation of important parameters of population dynamics for important fishery species, Mexico.

Keywords: length-frequency, kernel density estimators, growth, modal progression, population dynamics.

Corresponding author: Gustavo Rivera-Velázquez (grivera@unicach.edu.mx)

INTRODUCCIÓN

La distribución de frecuencias de tallas es un auxiliar en el estudio de parámetros de la dinámica de poblaciones. Por ejemplo, estudiar el crecimiento en camarones resulta difícil, toda vez que estos organismos no poseen una estructura esquelética ósea en la que se registren las variaciones ambientales que permitan en un momento dado leer directamente su edad. Por tal motivo los estudios realizados al respecto en su mayoría están basados en el análisis de distribuciones de frecuencias de tallas, en las que se identifican y separan componentes o cohortes diferentes, cuya evolución y seguimiento en el tiempo facilita estimar el crecimiento de estos organismos (Ramos-Cruz, 2000).

La distribución de frecuencia de tallas es comúnmente analizada por medio de histogramas y polígonos de frecuencia; no obstante su utilidad y amplio uso, estos procedimientos presentan diversos problemas incluyendo la dependencia del origen, amplitud y número de intervalos, discontinuidad y amplitud fija de intervalos (Salgado-Ugarte *et al.*, 1993, 1994, 1995a, 1995b, 1997, 2000, 2005; Salgado-Ugarte, 2002; Sanvicente-Añorve *et al.*, 2003; Ayala-Pérez, 2008). Los estimadores de densidad por Kernel (EDKs) no dependen del origen y los valores estimados son continuos (Silverman, 1986; Salgado-Ugarte *et al.*, 1993; Sanvicente-Añorve *et al.*, 2003). Además, existen diversos métodos para escoger el ancho del intervalo y éste estimador facilita reconocer la multimodalidad de una distribución de la frecuencia de tallas; también es posible utilizar amplitudes variables de intervalo para dar detalle y eliminar ruido (Salgado-Ugarte *et al.*, 2000, 2002; Salgado-Ugarte, 2002; Sanvicente-Añorve *et al.*, 2003; Ibáñez, 2004; Ibáñez & Romo-Coronel, 2007). Con la amplia disponibilidad actual de computadoras, los EDKs se han convertido en una herramienta moderna que se emplea para analizar la distribución de tallas y estimar el crecimiento en peces (Salgado-Ugarte *et al.*, 2000, 2002, 2005).

Existen varios métodos indirectos para estimar el crecimiento en organismos acuáticos sobre distribuciones de frecuencias de tallas simuladas y reales (Petersen, progresión de clases modales, ELEFAN I,

NSLCA). Sin embargo, no hay una guía para que el usuario juzgue cuándo y en que situaciones un método es el apropiado para usar, tradicionalmente las investigaciones realizadas se han enfocado a caracterizar su comportamiento en términos de su precisión y desempeño. En estimaciones de crecimiento, el desempeño está asociado con la forma en la cual un algoritmo ajusta las distribuciones de longitud con el supuesto que los organismos crecen de acuerdo a la función de crecimiento de von Bertalanffy (FCVB), y cómo el crecimiento a lo largo de la historia de vida puede ser razonablemente interpretado por los algoritmos. Esto significa que para cada aplicación particular, se debe conocer los supuestos de los métodos aplicados, sus algoritmos, la forma de ajuste, las características de los ciclos de vida y biología de la población. Así la elección del método apropiado para el crecimiento dependerá de las características particulares de cada población (Galindo, 2005). Por lo tanto, el primer paso antes de aplicar cualquier método para estimar crecimiento es propiamente el análisis de la distribución de frecuencias de tallas. Este estudio ilustra como el uso de los EDKs, seguidos por un método de análisis del crecimiento, en este caso el análisis de la progresión modal, es un camino objetivo y preciso para el estudio de la distribución de frecuencias de tallas y su aplicación en la estimación de parámetros importantes en la dinámica poblacional de camarones juveniles de *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) del sistema lagunar-estuarino Carretas-Pereyra, Golfo de Tehuantepec, México (Fig. 1).

Litopenaeus vannamei, comúnmente llamado camarón blanco, es característico de fondos lodosos o arenosos con lodo. Los adultos son marinos y han sido capturados entre 5 y 72 m de profundidad, pero en aguas costeras marinas se encuentran frecuentemente entre 1 y 4 m. La especie depende de los sistemas lagunares y estuarinos para su crecimiento (Hendrickx, 1995) y se distribuye en el Pacífico, desde Sonora, México a Tumbes en el norte de Perú. La localidad tipo es el Golfo de Panamá (Pérez-Farfante & Kensley, 1997). En la zona del golfo de Tehuantepec la corriente norecuatorial que se acentúa de noviembre a enero y la acción de los vientos del norte que soplan con intensidad variable de octubre a

abril imprimen a esta zona características típicas en el clima oceánico, como desplazamientos y surgencias de masas de agua. Este fenómeno produce variaciones en la temperatura que tienen efecto en el comportamiento de las especies de importancia comercial distribuidas a lo largo de las costas de Chiapas y Oaxaca (Reyna-Cabrera & Ramos-Cruz, 1998). En las comunidades costeras el camarón tiene rol importante: consume materia orgánica proporcionada por un sustrato rico en vegetación acuática y presencia de manglares (Hendrickx, 1995); constituye una presa importante para aves, peces y crustáceos depredadores (Menz, 1976) contribuyendo a mantener la dinámica del ecosistema; y también es la especie objetivo para el hombre al sustentar actividades pesqueras (Gamboa-Contreras & Tapia-García, 1998).

Este estudio presenta el uso de los EDKs para el análisis de la distribución de frecuencia de tallas, mediante la identificación de modas mensuales y el análisis de su progresión en el tiempo a lo largo de un muestreo de 18 meses; se analizó la estructura por tallas y se estimó el crecimiento de los organismos. Por lo tanto, este estudio también aporta estos elementos los cuales son instrumento valioso en la evaluación de poblaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos fueron obtenidos en 22 sitios de muestreo distribuidos en el sistema lagunar-estuarino Carretas-Pereyra, México, (Fig. 1). El área de muestreo fue seleccionada porque sustenta una importante pesquería de *L. vannamei* además que representa un sistema discreto. Los sitios de muestreo se eligieron considerando las diferencias ambientales. Se realizaron muestreos mensuales de marzo 2004 a agosto 2005, principalmente durante el día y abarcando las estaciones de precipitación y estío del año. El camarón fue capturado con una atarraya (esparavel) de 4 m de diámetro y 10 mm de mallas. Se realizaron diez lanzamientos aleatorios alrededor de cada sitio. Los camarones capturados se contaron, sexaron, pesaron (peso total) y midieron (longitud del cefalotórax *LC* y longitud total *LT*) y posteriormente fueron preservados en etanol al 70%. La distribución de tallas para cada muestra fue analizada usando el estimador de densidad por Kernel (EDK), método estadístico originalmente propuesto por Rosenblatt (1956) y definido como:

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{h}\right)$$

donde,

- $\hat{f}(x)$ = estimación de densidad de la variable x
- n = número de observaciones
- h = amplitud de banda (intervalo)
- X_i = longitud del i -ésimo espécimen (camarón)
- K = función ponderal Kernel

fue utilizada la función Kernel Gaussiana:

$$K(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right)$$

donde,

$$z = \frac{(x - X_i)}{h}$$

Como valor de referencia, la amplitud de intervalo fue determinada con base en la regla para la amplitud óptima de Silverman (1986):

$$h = \frac{0.9A}{n^{1/5}}$$

donde,

$$A = \min\left[\left(\frac{\sum (X_i - \bar{x})^2}{n-1}\right)^{1/2}, \left(\frac{Hdispersión}{1.349}\right)\right]$$

Hdispersión: Dispersión de los cuartos *sensu* Tukey, 1977; Velleman Hoaglin, 1981; Hoaglin, 1983; Fox, 1990 (*vide in* Salgado-Ugarte, 1992; 2002), aproximadamente igual al recorrido intercuartílico (Stata Corporation, 2005).

Para determinar el número y valor de las modas en cada distribución así como para seleccionar la amplitud de banda adecuada, se empleó una versión computarizada de la prueba de multimodalidad Silverman (1981), sobre la base de un esquema de muestreo con repetición (bootstrap suavizado) escrita para el paquete estadístico Stata (Salgado-Ugarte *et al.*, 1994, 1997, 2005; Stata Corporation, 2003). En esta prueba, el número de modas queda indicado por el primer valor de P mayor o igual a 0,4 (Salgado-Ugarte *et al.* 1997, 2005). Las tasas de crecimiento fueron estimadas siguiendo las tallas modales de cada cohorte en periodos consecutivos de muestreos. De acuerdo al método de Gulland & Holt (1959) (Sparre & Venema, 1997; Salgado-Ugarte *et al.*, 2005), se calcularon los parámetros de crecimiento de las generaciones identificadas. El método de Gulland & Holt (1959), permite una estimación preliminar de K incluso cuando únicamente se dispone de un solo par de valores de x e y (Gómez-Márquez, 1994; Sparre & Venema, 1997). Además, el incremento en tiempo no necesita ser una constante lo cual es una importante ventaja sobre otros métodos y para el caso particular del estudio de camarón silvestre, ya que los incrementos de la población varían en función de las

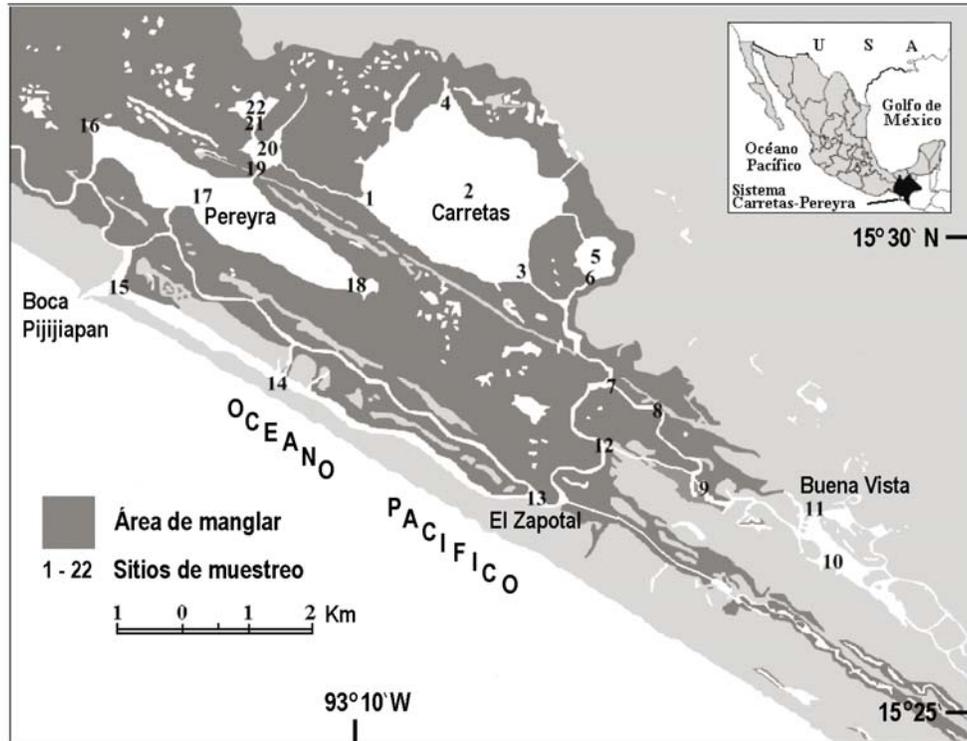


Figura 1. Localización del sistema lagunar-estuarino Carretas-Pereyra, Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas, México (Modificado de INE, 1999).

Figure 1. Location of Carretas-Pereyra lagoon-estuarine system, La Encrucijada Biosphere Reserve, Chiapas, México (Modify from INE, 1999).

condiciones ambientales (Medina-Reyna, 2001) y el crecimiento de los peneidos difiere estacionalmente solamente debido al efecto de la temperatura ambiental (Hartnoll, 1982). Sin embargo, no resulta eficaz a efecto de la estimación de t_o , por tanto considerando lo propuesto por García & le Reste (1987) y Gulland & Rosenberg (1992), t_o se consideró como la edad de ingreso al sistema lagunar-estuarino: 21 días con LT 6-12 mm (2-3 mm LC ; Hendrickx, 1995). La curva que describe el crecimiento de la longitud de *L. vannamei* se construyó considerando \bar{L}_∞ , como el promedio de los valores de L_∞ estimados para las generaciones identificadas e integrándola a la siguiente ecuación:

$$LC_t = L_\infty [1 - \exp \{ -K(t - t_o) \}]$$

donde,

LC_t = Longitud promedio del cefalotórax al tiempo t

L_∞ = longitud máxima media.

K = "parámetro de curvatura", determina la rapidez con que el espécimen alcanza L_∞

t_o = parámetro de condición inicial

t = edad

Con el propósito de comparar los resultados de este estudio con otros en los cuales se utilizó LT , la LC de *L. vannamei* fue transformada en LT aplicando la siguiente ecuación:

$$LT = 4,967265LC - 2,941976 \quad r^2 = 0,9587$$

RESULTADOS

Se recolectó un total de 2669 especímenes de camarón blanco (*L. vannamei*) en los 22 sitios de muestreo. El camarón blanco se presentó en el sistema todos los meses del periodo de estudio, aunque fue más abundante en diciembre-enero y marzo-mayo. La figura 2 muestra la secuencia mensual de la distribución de frecuencias de LC del camarón blanco. La amplitud óptima de intervalos empleada para la construcción de los EDKs varió de 0,66 a 3,09 mm dependiendo de los resultados de la prueba de Silverman. En los histogramas suavizados (Estimadores de Densidad por Kernel) se observaron dos y tres modas dominantes las cuales se consideran como grupos de camarones con edad similar (cohortes). La Tabla 1 muestra las amplitudes críticas de banda para diferente número de modas y los niveles

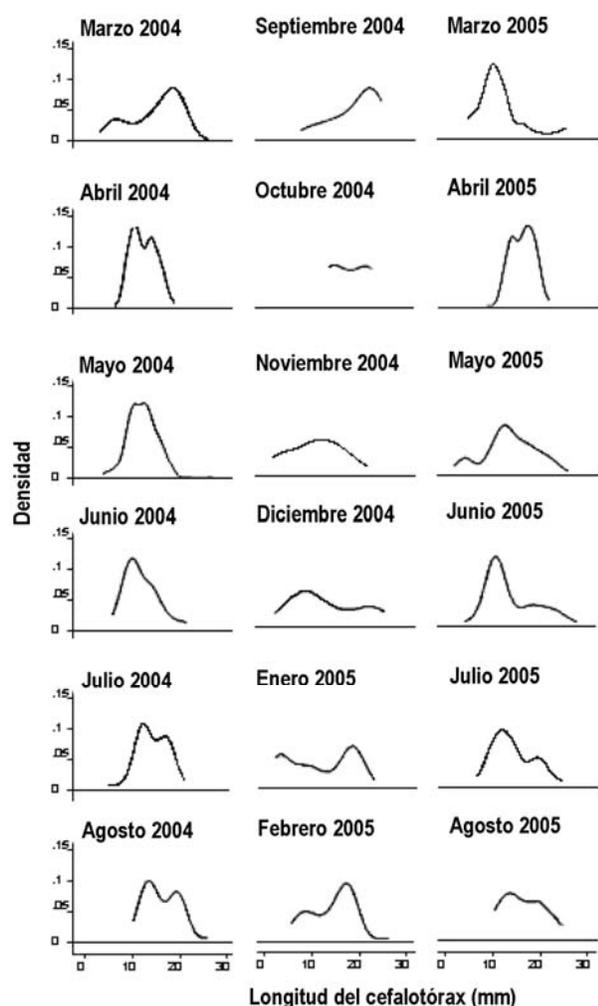


Figura 2. Secuencia de histogramas suavizados que refieren la longitud del cefalotórax (*LC*) de *Litopenaeus vannamei* del sistema lagunar-estuarino Carretas-Pereyra.

Figure 2. Sequence of smooth histograms for carapace length (*CL*) of *Litopenaeus vannamei* from lagoon-estuarine system Carretas-Pereyra.

estimados de significancia para la *LC* de *L. vannamei* en marzo 2004. Esta tabla sugiere que los datos tienen una distribución con dos modas y que la amplitud de banda que representa adecuadamente a esta distribución es de $(2,738 + 1,16)/2 = 1,949$ amplitud que resulta en una distribución claramente bimodal; la misma prueba se aplicó para cada uno de los meses y en cada uno de ellos se obtuvo un número de modas con significancia estadística. Las tasas de crecimiento obtenidas del análisis de progresión modal para las generaciones variaron entre 0,06 y 0,27 mm día^{-1} *LC* (Tabla 2; 0,29-1,34 mm día^{-1} *LT*). La tasa media de crecimiento del camarón blanco para el sistema en ambas estaciones climáticas fue 0,16 mm día^{-1} . Los valores de *K* sobre una base anual variaron entre

Tabla 1. Amplitudes de banda críticas y niveles de significancia estimados para longitud de cefalotórax (*SC*) de *L. vannamei* marzo de 2004 (la misma prueba se aplicó para cada uno de los meses).

Table 1. Critical bandwidths and estimated significance levels significant for carapace length (*SC*) of *L. vannamei* from March 2004 (the same test was applied for each one of the months).

Número de modas	Amplitud de Banda crítica	Valores de <i>P</i>
1	2,7390	0,0200
2	1,1600	0,4900
3	0,8500	0,6300
4	0,8060	0,3900

Nota: Los valores de *P* se obtuvieron de *B* = 100 repeticiones bootstrap de tamaño 625.

A manera de ejemplo se muestran los resultados de la prueba de Silverman para los datos de longitud del mes de marzo, en la cual, el primer valor de $P > 0,4$ (0,49) tiene respaldo para afirmar el número de modas de la muestra. Por lo que en este caso la muestra es bimodal.

Tabla 2. Tasa de crecimiento diario de *Litopenaeus vannamei* del sistema lagunar-estuarino Carretas-Pereyra.

Table 2. Daily growth rate of *Litopenaeus vannamei* from lagoon-estuarine system Carretas-Pereyra.

Generación	<i>LC</i> 1 (mm)	<i>LC</i> 2 (mm)	Crecimiento (mm día^{-1})	Días entre cohortes
1	7,17	13,84	0,16	43
2	18,95	26,86	0,12	64
3	10,95	18,50	0,25	30
4	6,88	13,46	0,24	28
5	13,46	21,74	0,14	61
6	13,62	19,28	0,20	28
7	19,28	21,85	0,08	34
8	15,10	22,25	0,13	56
9	22,25	26,00	0,06	64
10	8,65	18,07	0,27	35
11	18,07	24,75	0,12	56
12	2,84	8,80	0,21	29
13	8,80	15,35	0,24	27
14	9,64	16,54	0,20	35
15	8,27	11,86	0,12	30
16	11,86	17,82	0,11	54
17	3,54	13,99	0,12	89
18	11,05	13,69	0,09	28

0,730-10,950 (0,002 y 0,030 por día) con un valor medio de 0,02; sin embargo no mostraron una tendencia particular entre estaciones del año. Los valores de L_{∞} estuvieron comprendidos entre 23,32 y 28,80 *mm LC* (120,89 y 149,35 *mm LT*) con una

media de 26,99 mm LC (139,95 mm LT). Considerando estas estimaciones, la ecuación que describe el crecimiento promedio del camarón blanco en el sistema (Fig. 3) es la siguiente:

$$L(t) = L_{\infty} [1 - \exp \{-K(t - t_0)\}] = 26.99 [1 - \exp \{-0.02(t - 21)\}]$$

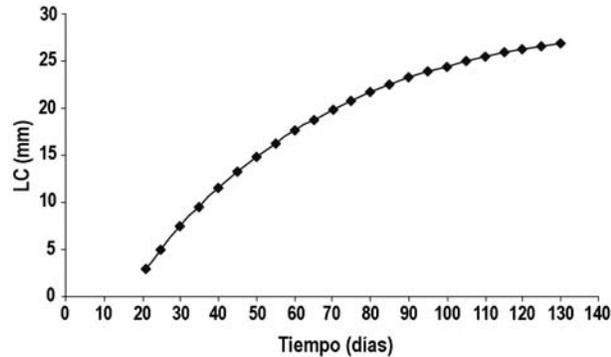


Figura 3. Ajuste de la función de crecimiento de von Bertalanffy al crecimiento de *Litopenaeus vannamei* en el sistema lagunar-estuarino Carretas-Pereyra.

Figure 3. Von Bertalanffy growth function adjustment to the growth of *Litopenaeus vannamei* from lagoon-estuarine system Carretas-Pereyra.

DISCUSIÓN

En los estudios de pesquerías se ha promovido el uso de las modas en las distribuciones de frecuencia de tallas como una manera de identificar grupos de peces o crustáceos con edad semejante (Gulland & Rosenberg, 1992; Sanvicente-Añorve *et al.*, 2003; Salgado-Ugarte *et al.*, 2005). Para lo cual los supuestos básicos son que la muestra de tamaños no está sesgada y la especie se reproduce bajo un lapso de tiempo relativamente corto (Salgado-Ugarte *et al.*, 2005).

Para el estudio de la distribución de tallas, el método tradicionalmente utilizado es el histograma. De acuerdo con Tarter & Kronmal (1976) y Fox (1990 *vide in* Salgado-Ugarte *et al.*, 2005) el uso de histogramas para el estudio detallado de distribuciones presenta cuatro problemas: 1) Dependencia del origen: un cambio en el origen puede cambiar el número de modas en la estimación de densidad (distribución); 2) Dependencia de la amplitud y número de intervalos: usar pocos intervalos elimina detalles en la distribución mientras que con numerosas clases las estimaciones resultan ruidosas; 3) Discontinuidad: es función de la localización arbitraria de los intervalos y de la discretización de los datos más bien que de la población muestreada; se dibujan las barras suponiendo densidad constante en cada clase; y, 4)

Amplitud fija de intervalo: clases suficientemente angostas para capturar el detalle donde la densidad es alta, pueden resultar demasiado angostas para evitar ruido en densidades bajas.

En la práctica, a pesar de la importancia de la elección, tanto del origen como de la amplitud y número de intervalos, es frecuente que se determinen arbitrariamente. El estimador de densidad por Kernel (EDK) resuelve los inconvenientes del origen, discontinuidad y se pueden implementar estimadores con un ancho de intervalo ajustable al número de datos, además evita la subjetividad del análisis ya que funciona como una guía para desprender al investigador de una selección arbitraria del origen del histograma o polígono de frecuencia a utilizar (Salgado-Ugarte, 2002; Sanvicente-Añorve *et al.*, 2003). Un inconveniente de los EDKs es que requieren un gran número de cálculos para su estimación. Scott (1985 *vide in* Salgado-Ugarte *et al.*, 1997) sugirió una forma para superar este problema: el procedimiento llamado “Histogramas Desplazados Promedio” (HDP). Posteriormente, Härdle y Scott (1988 *vide in* Salgado-Ugarte *et al.*, 1997) desarrollaron la estructura más general denominada “Promedio Ponderado de Puntos Redondeados” (PPPR). Este enfoque fue usado para calcular los EDKs en este trabajo, empleando los programas presentados en Salgado-Ugarte *et al.* (1997, 2000, 2002). Como valor de referencia se utilizó el ancho de banda óptimo de Silverman (1986). Este valor es alto cuando la distribución de los datos es sesgada o multimodal. Para especificar el ancho de banda que muestra en forma más adecuada la distribución de las tallas se aplicó la prueba de multimodalidad de Silverman (Silverman, 1981, 1986; Salgado-Ugarte *et al.*, 1997). Este procedimiento proporciona una banda que resulta en un número de modas con significancia estadística.

Otro factor que afecta la detección de modas de datos de tamaño se presenta porque el análisis de la frecuencia de longitud tiende a agrupar las clases finales de edad si sus medidas están muy cercanas o contienen porcentajes pequeños del número de organismos (Salgado-Ugarte *et al.*, 2005). En el caso de *L. vannamei* del sistema Carretas-Pereyra las etapas de su ciclo de vida que permanecen en el sistema, y que van de postlarva a preadulto, son fases de crecimiento exponencial, por lo tanto el problema del agrupamiento de modas por efecto de edad no se presenta. Además, la prueba de Silverman constituyó una herramienta para validar la multimodalidad de los datos de tamaño. Por lo tanto, el hecho de que el análisis de la distribución de frecuencia de tallas reveló únicamente la presencia de dos y tres modas, se

debe a que *L. vannamei* permanece poco tiempo en el sistema, menos de cinco meses (Rivera *et al.*, 2008).

La tasa media de crecimiento de *L. vannamei* en el sistema Carretas-Pereyra tuvo una amplia variación (0,13 a 1,27 mm día⁻¹). De acuerdo a Pérez-Castañeda & Defeo (2001) el crecimiento está controlado por la disponibilidad de alimento; sin embargo, para el caso de los sistemas estuarinos es reconocida su capacidad para proveer de alimento y protección a diversas especies marinas (Yañez-Arancibia, 1986; Day *et al.*, 1989; Flores-Verdugo, 2002). A este respecto Medina-Reyna (2001) sostiene que la distribución de los camarones juveniles dentro de los sistemas estuarinos puede afectar el reparto de alimento. Entonces el crecimiento es afectado por la aglomeración de camarones en un área y no por un déficit neto en la cantidad de alimento. La distribución y abundancia de camarones en los sistemas estuarinos varía en función de la salinidad y el reclutamiento (Edwards, 1977; Medina-Reyna, 2001). En el sistema estudiado en el periodo de diciembre-enero y marzo-mayo fue evidente el incremento de las capturas lo cual manifiesta la existencia de pulsos de reclutamiento. Otro factor que influyó en la variación en la tasa media de crecimiento fue el tiempo de residencia de las generaciones de camarón en el sistema. Por el contrario, las estaciones climáticas no influyeron en el resultado dado que sus tasas medias de crecimiento fueron iguales (0,16 mm día⁻¹, estío y precipitación).

Es importante recordar que los valores de los parámetros de crecimiento, así como los que se observan en la curva que describe el crecimiento promedio del camarón blanco en el sistema, representan las dimensiones corporales hacia las que tiende *L. vannamei* hasta el momento de emigrar del sistema, y no el crecimiento asintótico de la especie. Los valores estimados para el ajuste de la función de

crecimiento de von Bertalanffy al crecimiento de *L. vannamei* en el sistema lagunar-estuarino Carretas-Pereyra, están dentro de los valores máximos observados. Finalmente, es importante destacar que los parámetros de crecimiento estimados en este estudio (tasa media de crecimiento, L_{∞} y K) son similares a los reportados por Ramos-Cruz (2000) y Sarmiento-Náfate & Gil-López (2003), estudios previos realizados en el sistema Mar Muerto también dentro del Golfo de Tehuantepec y en el propio sistema Carretas-Pereyra, respectivamente (Tabla 3). Así mismo, el crecimiento y K reportados por Nuñez-Pasten (1988) en el sistema Huizache-Caimanero Sinaloa México, están dentro de los rangos encontrados en este estudio (Tabla 3). Para estudios de crecimiento de *L. vannamei* en condiciones de laboratorio el crecimiento se ha estimado en 0,74 mm día⁻¹ (Garza-Bravo, 1998), y en condiciones de cultivo en 0,79 mm día⁻¹ (Marín-López & Trejo-Monroy, 1991), los cuales también están dentro de los intervalos registrados.

Los resultados obtenidos demuestran la confiabilidad de las estimaciones y son evidencia de las ventajas que puede representar el empleo del método de análisis de la distribución de frecuencia de tallas de *Litopenaeus vannamei* mediante los estimadores de densidad por Kernel, los cuales eliminan la subjetividad al seleccionar el origen y la amplitud de banda (intervalo) al construir los histogramas tradicionales, el resultado es continuo (suave), existe un respaldo estadístico objetivo para la amplitud de banda utilizada y facilita la comparación de resultados con los obtenidos en otros estudios. Además, este método representa una herramienta que pudiera tener un amplio potencial para el mejoramiento en la administración de este recurso a un nivel extenso.

Tabla 3. Comparación de los parámetros de crecimiento de *Litopenaeus vannamei* entre los sistemas Carretas-Pereyra, Mar Muerto y Huizache-Caimanero, todos en el Golfo de Tehuantepec.

Table 3. Growth parameters comparison of *Litopenaeus vannamei* among the systems Carretas-Pereyra, Mar Muerto and Huizache-Caimanero, both in the Gulf of Tehuantepec.

Sistema	Tasa crecimiento (mm día ⁻¹)	L_{∞} (mm)	K (base anual)	Migración	
				Talla (mm)	Edad (mes)
Este estudio	0,29-1,34	121,0-149,0	0,730-10,950	105,0-131,0	2,0-5,0
Mar Muerto ¹	0,13-1,27	105,0-159,0	0,365-14,600	83,0-120,0	1,5-4,5
El Zapotal ²	0,21-1,02	108,4-134,7	4,380-8,760	102,0-107,5	3,0-3,1
Huizache-Caimanero ³	0,48-0,66		1,920-2,640		

¹Ramos Cruz, 2000; ²Sarmiento-Náfate & Gil-López, 2003; ³Nuñez-Pasten, 1988.

*El Zapotal. En el sistema Carretas-Pereryra.

AGRADECIMIENTOS

Los datos para este trabajo fueron tomados del proyecto 160, 2003-002 del Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT. El primer autor agradece al programa de intercambio académico UNICACH-UNAM por el apoyo para la redacción del manuscrito. El segundo autor recibió apoyo del proyecto PAPIME-DGAPA-UNAM PE205407.

REFERENCIAS

- Audelo-Naranjo, J.M., O.O. Zamudio-Armenta & J.L. Madero-Pérez. 1999. Comparación de la tasa de crecimiento de *Penaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae) en cultivos semi-intensivos de invierno y de verano. *Rev. Biol. Trop.*, 47, (1-2): 119-121.
- Ayala-Pérez, L.A., J. Ramos-Miranda, D. Flores-Hernández, B.I. Vega-Rodríguez & U.C. Moreno-Medina. 2008. Biological and ecological characterization of the catfish *Cathorops melanopus* off the west coast of Campeche, Mexico. *Cienc. Mar.*, 34(4): 453-465.
- Day, J.W. Jr., Ch.A.S. Hall, W.M. Kemp & A. Yáñez-Arancibia. 1989. *Estuarine ecology*. John Wiley & Sons, New York, 558 pp.
- Edwards, R.R.C. 1977. Field experiments on growth and mortality of *Penaeus vannamei* in a Mexico coastal lagoon complex. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, 5: 107-121.
- Flores-Verdugo, F.J. 2002. Procesos ecológicos en humedales. En: F.J. Abarca & M. Herzig (eds.). *Manual para el manejo y conservación de humedales en México*. PRONATURA; US Fish and Wildlife Service; SEMARNAT; NAWCC; Arizona Game and Fish; DUMAC; SWS; Canadian Wildlife Service; Ramsar: 1-26.
- Galindo, G. 2005. Evaluación de tres métodos para estimación del crecimiento basados en el análisis de distribuciones de frecuencias de longitudes. Tesis de Maestra en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California, 135 pp.
- Gamboa-Contreras, J.A. & M. Tapia-García. 1998. Invertebrados bentónicos de la plataforma continental interna. M. Tapia-García (ed.). *El golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México, 9: 103-128 pp.
- García, S. & L. le Reste. 1987. Ciclos vitales, dinámica, explotación y ordenamiento de las poblaciones de camarones peneidos costeros. *FAO Doc. Téc. Pesca*, 203: 180 pp.
- Garza-Bravo, F.J. 1998. Efectos de la temperatura y salinidad sobre el crecimiento, consumo de alimento y sobrevivencia de postlarvas de *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Mazatlán, Sinaloa, 116 pp.
- Gómez-Márquez, J.L. 1994. Métodos para determinar la edad en los organismos acuáticos. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, 89 pp.
- Gulland, J.A. & A.A. Rosenberg. 1992. Examen de los métodos que se basan en la talla para evaluar las poblaciones de peces. *FAO Doc. Téc. Pesca*, 323: 112 pp.
- Gulland, J.A. & S.J. Holt. 1959. Estimation of growth parameters for data at unequal time intervals. *J. Cons. ICES*, 25(1): 47-9.
- Hartnoll, R.G. 1982. Growth. In: D. Bliss (ed.). *The Biology of Crustacea*, Vol. 2. Academic Press, New York, 111-185 pp.
- Hendrickx, M.E. 1995. Camarones. En: W. Fischer, F. Krupp, W. Scheider, C. Sommer, K.E. Carpenter & V.H. Niem (eds.). *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de pesca*. Pacífico Centro-Oriental. Vol. I. Plantas e invertebrados. FAO, Roma, 646 pp. 417-537.
- Ibáñez, A.L. 2004. Impact of the timing of stocking on growth and allometric index in aquaculture-based fisheries. *Fish. Manage. Ecol.*, 11: 81-87.
- Ibáñez, A.L. & M.A. Romo-Coronel. 2007. Formation of ring marks in stocked tilapia juveniles (*Oreochromis aureus/O. niloticus*) (Perciformes: Cichlidae). *Rev. Biol. Trop.*, 55(3-4): 1005-1013.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 1999. Programa de Manejo. Reserva de la Biosfera "La Encrucijada". Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAP, México, 183 pp.
- Marín-López, S.E. & M. Trejo-Monroy. 1991. Crecimiento del camarón blanco *Penaeus vannamei* Boone y sus relaciones con algunas variables físico-químicas en la granja camaronera Clementina, en el municipio de Mazatlán, Sinaloa, durante el periodo de 1989 a 1990. Tesis. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Mazatlán Sinaloa, 71 pp.
- Medina-Reyna, C.E. 2001. Growth and emigration of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in the Mar Muerto Lagoon, Southern Mexico. *Naga, The ICLARM Quarterly*, 24 (3-4): 30-34.
- Menz, A. 1976. Bioeconomics of penaeid shrimps in a lagoon complex on the Mexican Pacific coast. Ph.D. Dissertation, Graduate School, University of Liverpool, England, 145 pp.
- Núñez-Pasten, A. 1988. Crecimiento del camarón *Penaeus vannamei*, *Penaeus stylirostris*, *Penaeus*

- californiensis* y su relación con factores ambientales (temperatura y salinidad) en las lagunas de Huizache y Caimanero, Sinaloa, México. Tesis de Maestro en Ciencias. Instituto de Ciencias. y Limnología, UNAM, Mazatlán Sinaloa, 82 pp.
- Pérez-Castañeda, R. & O. Defeo. 2001. Population variability of four sympatric penaeid shrimps (*Farfantepenaeus* spp.) in tropical coastal lagoon of Mexico. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 52: 631-641.
- Pérez-Farfante, I. & B. Kensley. 1997. Penaeoid and Sergestoid shrimps and prawns of the world. Keys and diagnoses for the families and genera. Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle, Zoologie, Vol. 175: 233 pp.
- Ramos-Cruz, S. 2000. Composición por tallas, edad y crecimiento de *Litopenaeus vannamei* (Natantia: Penaeidae), en la laguna Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas, México. *Rev. Biol. Trop.*, 48(4): 873-882.
- Reyna-Cabrera, I.E. & S. Ramos-Cruz. 1998. La pesquería de camarón de altamar. En: M. Tapia-García (ed.). El golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México, 163-178 pp.
- Rivera-Velázquez, G., L.A. Soto, I.H. Salgado-Ugarte & E.J. Naranjo. 2008. Growth, mortality and migratory pattern of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*; Crustacea, Penaeidae) in the Carretas-Pereyra coastal lagoon system, southern Mexico. *Rev. Biol. Trop.*, 56(2): 523-533.
- Rosenblatt, M. 1956. Remarks on some nonparametric estimates of a density function. *Ann. Math. Statist.*, 27: 832-837.
- Salgado-Ugarte, I.H. 1992. El análisis exploratorio de datos biológicos. Fundamentos y Aplicaciones. Marc Ediciones y FES Zaragoza, UNAM, México, 243 pp.
- Salgado-Ugarte, I.H. 2002. Suavización no paramétrica para análisis de datos. FES Zaragoza-DGAPA UNAM (PAPIIT IN217596, PAPIME 192031), 139 pp.
- Salgado-Ugarte, I.H., M. Shimizu, & T. Taniuchi. 1993. Exploring the shape of univariate data using kernel density estimators. *Stata Tech. Bull.*, 16: 8-19.
- Salgado-Ugarte, I.H., M. Shimizu & T. Taniuchi. 1994. Semi-graphical determination of Gaussian components in mixed distributions. *Stata Tech. Bull.*, 18: 15-27.
- Salgado-Ugarte, I.H., M. Shimizu & T. Taniuchi, 1995a. ASH, WARPing, and kernel density estimation for univariate data. *Stata Technical Bulletin*, 26: 2-10.
- Salgado-Ugarte, I.H., M. Shimizu, & T. Taniuchi, 1995b. Practical rules for bandwidth selection in univariate density estimation. *Stata Tech. Bull.*, 27: 5-19.
- Salgado-Ugarte, I.H., M. Shimizu & T. Taniuchi. 1997. Nonparametric assessment of multimodality for univariate data. *Stata Tech. Bull.*, 38: 27-35.
- Salgado-Ugarte, I.H., J. L. Gómez-Márquez & B. Peña-Mendoza. 2005. Métodos actualizados para análisis de datos biológico-pesqueros. FES-Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 240 pp.
- Salgado-Ugarte, I.H., J. Martínez-Ramírez, J.L. Gómez-Márquez & B. Peña-Mendoza. 2000. Some programs for growth estimation in fisheries biology. *Stata Tech. Bull.*, 53: 35-47.
- Salgado-Ugarte, I.H., M. Shimizu, T. Taniuchi & K. Matsushita. 2000. Size frequency analysis by averaged shifted histograms and kernel density estimators. *Asian Fish. Sci.*, 13: 1-12.
- Salgado-Ugarte, I.H., M. Shimizu, T. Taniuchi & K. Matsushita. 2002. Nonparametric assessment of multimodality for size frequency distributions. *Asian Fish. Sci.*, 15: 295-303.
- Sanvicente-Añorve, L., I.H. Salgado-Ugarte & M. Castillo-Rivera. 2003. The use of kernel density estimators to analyze length-frequency distributions of fish larvae. In: I.H. Browman & A.B. Skiftesvik (eds.). The big fish bang: Proceeding of the 26th annual larval fish conference. Institute of Marine Research. Bergen, pp. 419-430.
- Sarmiento-Náfate, S. & H.A. Gil-López. 2003. Efecto del arte de pesca fijo, Tapo El Zapotal, sobre la migración del camarón blanco del sistema lagunar Carretas-Pereyra, Chiapas, México. En: Memorias Segundo Foro de investigación camarón del Pacífico: evaluación y manejo. Huatulco, Oaxaca, 32-34 pp.
- Silverman, B.W. 1986. Density estimation for statistics and data analysis. Chapman & Hall, London, 175 pp.
- Sparre, P. & S.C. Venema. 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO Doc. Téc. Pesca, 306/1 Rev. 2: 696 pp.
- Stata Corporation. 2003. Stata statistical software for windows: release 8.0. College Station, TX. Stata Corporation.
- Stata Corporation. 2005. Stata statistical software for windows: release 9.0 College Station, TX: Stata Corporation LP.
- Tarter, M.E. & R.A. Kronmal. 1976. An introduction to the implementation and theory of nonparametric density estimation. *Am. Statist.*, 30: 105-112.
- Yáñez-Arancibia, A. 1986. Ecología de la zona costera. Análisis de siete tópicos. AGT, México, D.F., 189 pp.

Received: 15 April 2009; Accepted: 8 April 2010