

## Una Aproximación Preliminar Para Estimar Migraciones: El Caso de la Langosta *Panulirus argus* de Yucatán, México

JOSÉ L. CABRERA-PÉREZ<sup>1</sup>, SILVIA SALAS-MÁRQUEZ<sup>2</sup>, and  
FRANCISCO ARREGUÍN-SÁNCHEZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de desarrollo Pesquero del Estado de Yucatán.

<sup>2</sup>Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN

A.P. 73-CORDEMEX, 97310

Mérida, Yucatán, México

### RESUMEN

Las migraciones que ocurren en algunas poblaciones son eventos que juegan un papel importante para el manejo de los recursos. Sin embargo, en la mayoría de los casos su magnitud y estacionalidad no son fáciles de evaluar por la sobreposición de cohortes y la incertidumbre con respecto al tiempo en que ocurren. En el presente trabajo, se propone un procedimiento para estimar movimientos poblacionales asociados a migraciones y su estacionalidad basado en una modificación de la curva de captura. El procedimiento está basado en el método modificado de Paloheimo aplicado a datos de captura y esfuerzo de pesca en períodos cortos de tiempo. Cuando la mortalidad total ( $Z$ ) es estimada, la mortalidad natural ( $m$ ) y la migración ( $v$ ) son considerados como un estimador de ( $M$ ), tal que  $Z = M + F$ , donde  $M = m + v$ , y  $F$  es mortalidad por pesca. Con el propósito de separar  $m$  y  $v$ , se supone que  $m$  presenta un patrón anual constante y se toma el valor promedio de  $m$  para que sus variaciones en el tiempo sean expresadas como anomalías cuyo análisis cuantitativo dará un estimador de la tasa de migración ( $v$ ). Este procedimiento es aplicado a la langosta *Panulirus argus* de la Península de Yucatán.

### ABSTRACT

Migrations in some populations have an important meaning for resources management when they are exploited by fishermen. However the migration magnitude and its seasonality are often not easy to assess because cohort overlapping and uncertainty on the specific time when migration occurs. This contribution proposes a possible way to estimate magnitude and its timing based on a modification of the catch curve. The proposed procedure is based on the modified Paloheimo's method applied to catch and effort data on small time periods. When total mortality ( $Z$ ) is obtained as  $Z = M + F$ , natural mortality ( $M$ ) can be divided into two components, natural mortality ( $m$ ) and migration ( $v$ ), (i.e.,  $M = m + v$ ). In order to separate  $m$  and  $v$ , a constant annual pattern for  $m$  is assumed and its average is taken for the observation of their time variations as anomalies whose quantitative analysis will give an estimation for  $v$ . This procedure is demonstrated when it is applied to the spiny lobster (*Panulirus argus*) fishery from the continental shelf of Yucatán.

### INTRODUCCION

Uno de los aspectos más relevantes del ciclo de vida de la langosta son los movimientos migratorios masivos que han sido asociados a diferentes factores. Davis (1977, citado por Kanciruk, 1980) observó cambios en la densidad de población de *Panulirus argus* que estaban estrechamente relacionados con fluctuaciones en la temperatura. Tales cambios se atribuyen a fenómenos de migración hacia regiones de mayor profundidad. Kanciruk (*op. cit.*) menciona que las interacciones de varios factores del medio tales como temperatura, luz, fotoperíodo, salinidad, etc. y el comportamiento de los Palinuridos son complejas, y hay evidencias de que tales parámetros afectan los patrones de movimiento, reproducción, crecimiento y la distribución regional y local de la población. Este comportamiento migratorio ha sido aprovechado por los pescadores en muchas ocasiones para aumentar sus capturas (Herrkind *et al.* 1973; Ramos, 1974; Aguilar y Cobá, 1974 y Fuentes, 1986); por lo que pueden representar un componente significativo de la pesquería. Sin embargo los estudios a este respecto son escasos y han sido enfocados principalmente a efectos en la distribución espacial (ver Herrkind, *et al.*, 1973). En general, para el caso de *Panulirus argus* en la península de Yucatán se conoce poco sobre la magnitud y estacionalidad de las migraciones.

En los estudios sobre el recurso generalmente se consideran las pérdidas por causas naturales y por pesca, y no son analizadas aquellas debidas a las migraciones, lo cual repercute en las evaluaciones de la población sujeta a explotación y consecuentemente en las medidas de manejo. Usualmente se emplea el método de marcaje-recaptura para conocer las distancias recorridas por los organismos, la distribución y estacionalidad de los movimientos migratorios, etc.. Estas técnicas resultan bastante útiles, pero también muy costosas. En este sentido, se presenta un procedimiento para estimar los cambios del número de individuos en la población asociados a las migraciones con base en una modificación de la curva de captura. A manera de ejemplo se aplica al caso de la langosta en dos puertos de la Península de Yucatán.

### MATERIAL Y METODOS

De acuerdo con Ricker (1975), los cambios de las poblaciones en el tiempo pueden estimarse a través de la curva de captura  $N_{\Delta t+1} = N_{\Delta t} \exp(-Z\Delta t)$  (1) donde

$\Delta t$  = intervalo de tiempo como fracción del año; en este caso correspondiente a períodos mensuales

$N$  = número de individuos

$Z$  = tasa instantánea de mortalidad total, siendo

$Z = M + F$

En el caso donde los movimientos poblacionales son poco significativos, se tiene

$$Z = m + F = m + qf \quad (2)$$

donde

$m$  = estimador de la tasa instantánea de mortalidad natural,

$F$  = tasa instantánea de mortalidad por pesca

$q$  = es el coeficiente de capturabilidad, y

$f$  = representa la intensidad de pesca.

Para poblaciones donde los movimientos poblacionales son importantes, el cambio en el número de individuos por efectos de migración es registrado como parte del estimador de  $Z$ , y en consecuencia

$$Z = M + F = m + v + qf \quad (3)$$

donde

$$M = m + v$$

$v$  = tasa instantánea de migración, cuya dirección será dada por el signo: positivo (+) cuando ocurre emigración; y negativo (-) cuando ocurre inmigración.

Paloheimo (1961) sugiere una solución de la ecuación (1) por regresión cuando  $\Delta t = 1$ ; donde la ordenada al origen sería un estimador de  $m$  (ó  $M$  en el caso de la ecuación 3), y la pendiente un estimador de la capturabilidad ( $q$ ), ambos parámetros supuestos como constantes dentro del intervalo de tiempo definido por  $\Delta t$  (un año). Por otra parte, Caddy (1985) sugiere una forma modificada de esta ecuación para obtener estimaciones de  $m$  para intervalos de  $\Delta t < 1$  año:

$$m = \frac{Z_1}{1 + \frac{f_{1\Delta t}}{f_{2\Delta t}}} - \frac{Z_2}{\frac{f_{2\Delta t}}{f_{1\Delta t}} - 1} \quad (4)$$

En poblaciones de larga longevidad puede suponerse que los valores de  $m$  sean más o menos constantes, y que, en su caso, el patrón de variabilidad se repita anualmente. Por otro lado, cuando se intenta resolver la ecuación (3) existiendo fenómenos de migración, la aplicación de la ecuación (4) realmente ofrece estimadores de  $M$  que contiene tanto  $m$  como  $v$ . De acuerdo con esto y considerando que la migración es un fenómeno de carácter estacional (que ocurre en intervalos de tiempo bien definidos y siempre menores a un año), será posible separar los dos componentes de  $M$  a través de un análisis de anomalías, tal que

$$v_{\Delta t} = M_{\Delta t} - m \quad (5)$$

donde  $m$  puede ser obtenido como el valor medio de  $M_{\Delta t}$  para aquel periodo de tiempo cuya tendencia sea constante ( $M_{\Delta t+1} = M_{\Delta t}$ ), donde la migración

podría ser considerada como nula. De esta forma, las diferencias con respecto a  $M_{\Delta t}$  corresponderán a la tasa de migración en el intervalo  $\Delta t$ . Obviamente, valores de  $M$  pueden ser obtenidos de manera independiente por diversos métodos. De esta forma, la ecuación (1) quedará definida considerando el fenómeno de migración como:

$$N_{\Delta t+1} = N_{\Delta t} \exp^{-(m + v + F)\Delta t} \quad (6)$$

Una expresión similar es presentada por Lucas *et al.* (1979), citado por Kirwood (1984), para el caso del camarón *Penaeus merguensis*. De acuerdo con esta relación, la proporción de la población que participa en el proceso de migración podría ser representada como

$$\mu = \frac{v}{m + v + F} [1 - \exp^{-(m + v + F)}]$$

El procedimiento propuesto fué aplicado a la langosta *Panulirus argus* de las costas de la Península de Yucatán. La información utilizada fué colectada durante la temporada de pesca 1987-88. Se tomaron datos de longitud abdominal (cm) de langostas provenientes de las capturas comerciales. Para ello se consideró una muestra de embarcaciones dedicadas a esta pesquería eligiéndose como localidades de estudio los Puertos de Punta Allen y Río Lagartos (Figura 1). Estos sitios fueron seleccionados entre otros puertos debido a que presentan características diferentes con respecto a los campos pesqueros así como en los métodos de pesca empleados.

Se realizó un muestreo preliminar sobre 65 embarcaciones para determinar el tamaño de muestra adecuado para cada puerto, con lo cuales los estimadores no excederían un error máximo de 7.5 % para un nivel de confianza del 95%. El número mensual de embarcaciones fué determinado mediante el método de asignación óptima de la muestra (Bhattacharya y Johnson, 1977), variando en los diferentes puertos. Para el caso de Río Lagartos el número de embarcaciones fué de 15; y para Punta Allen de 8.

La información sobre la composición por longitudes de las capturas fué utilizada para estimar los parámetros del modelo de crecimiento de Von Bertalanffy (1938) utilizando el sistema ELEFAN (Gayanilo *et al.*, 1988). Así mismo, la mortalidad total por mes fué estimada para cada puerto utilizando la ecuación (2) modificada para el análisis de datos de composición por longitudes.

Por otra parte, se obtuvo información de la intensidad de pesca por día y pescador de las Sociedades Cooperativas Regionales. Considerando que la duración de los viajes de pesca es de un día, el esfuerzo de pesca efectivo fué considerado como el número de días de pesca, el cual fué agrupado

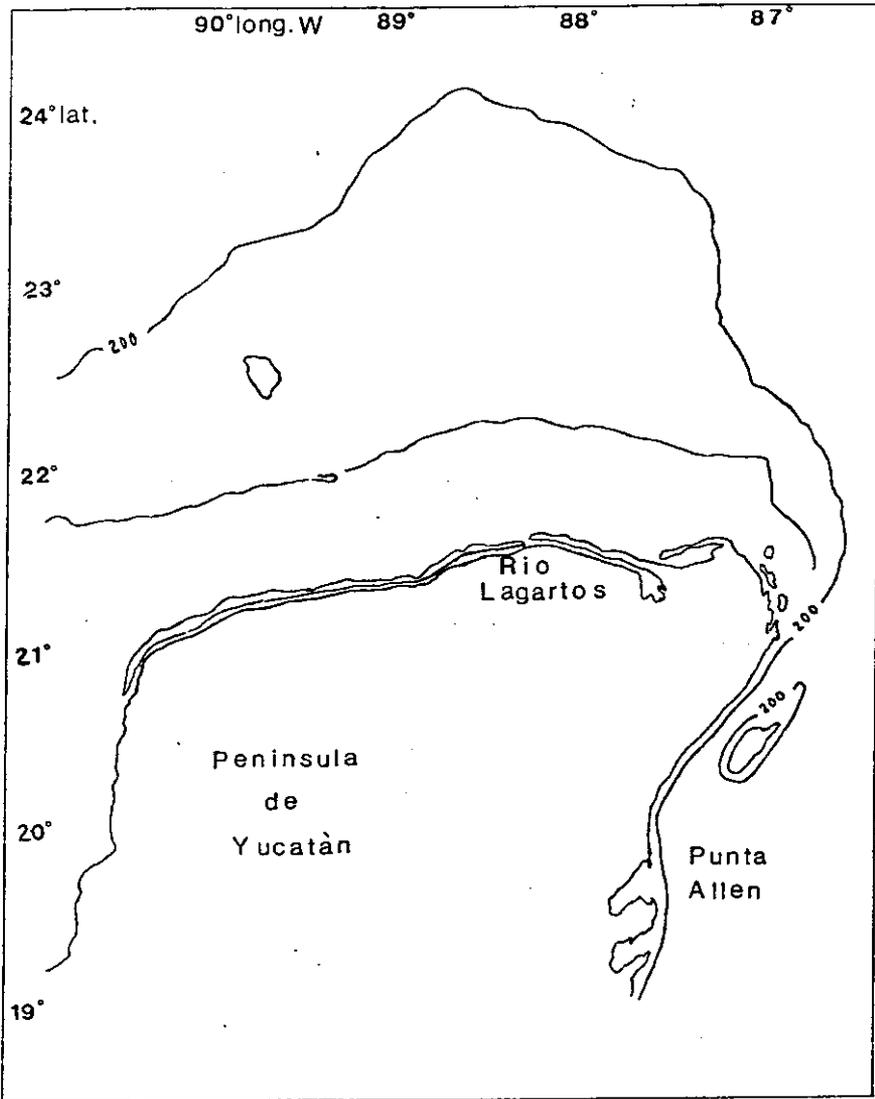


Figura 1. Area de estudio: Península de Yucatán.

mensualmente de acuerdo a los períodos de tiempo utilizados en la ecuaciones (4) a (7).

La estimación de la tasa de migración se obtuvo de la aplicación de las ecuaciones (4) y (5) considerando una temporalidad de  $\Delta t =$  un mes, para lo cual se obtuvieron estimaciones de  $M$  a partir de diferentes procedimientos:

a) Mediante la aplicación de la ecuación (4) utilizando valores de  $\Delta t =$  un mes.

b) Aplicación de la ecuación de Pauly (1980) utilizando un valor de temperatura de las zonas costeras adyacentes a las áreas de estudio  $T^{\circ}\text{C} = 26$  (Calendario Grafico de Mareas), y los parámetros de la ecuación de crecimiento estimados.

c) La ecuación propuesta por Richter y Effanov (1977) eligiendo como edad de primera madurez  $T_m = 3$  años (según Cruz, 1981).

d) La ecuación propuesta por Cruz (1981), análoga a la propuesta por Pauly (1980), pero construida con información exclusiva de poblaciones de langosta.

Al analizar la tendencia en el tiempo de los valores de  $M\Delta t$  se observó el período de mayor estabilidad, cuyo promedio se supuso como estimador de  $m$  de acuerdo a la ecuación (5).

## RESULTADOS

Los valores de los parámetros de la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy se encuentran entre los valores promedio estimados para esta especie en otras áreas tropicales (Tabla 1).

Con estas estimaciones se obtuvieron los valores de  $Z\Delta t$ , los cuales, en conjunto con los datos de esfuerzo de pesca (días) para cada período, fueron utilizados para obtener estimaciones de  $M_{\Delta t}$  de acuerdo a la ecuación (4). Se observó que los estimadores son sensibles a las variaciones en la tasa de crecimiento. Los valores obtenidos de estos estimadores de  $m$  a partir de los diferentes procedimientos se muestran en la Tabla 2 para ambos puertos.

La tasa de migración ( $v\Delta t$ ) se estimó con base en la ecuación (5), mostrando variaciones en el tiempo (Tabla 3), presentando valores negativos (como índice de inmigración) en el mes de Agosto para ambos puertos. Las tendencias de  $v\Delta t$  en el tiempo para los cuatro estimadores de  $M$  se muestran en la Figura 2 para Río Lagartos, y para Punta Allen en la Figura 3. Debe notarse que en todos los casos la tendencia es similar a pesar de la diferencia de los valores de los estimadores. Dicha diferencia se manifiesta en la magnitud de la tasa de migración. La temporada de pesca se inicia en el mes de Julio con el ingreso de individuos (tendencia decreciente de  $v\Delta t$ , lo cual sugiere la presencia de procesos de inmigración) en ambos puertos y para el mes de Septiembre los valores de  $v\Delta t$  aumentan claramente, lo cual sugiere el inicio de la emigración que alcanza un máximo en el mes de Octubre para el caso de Punta Allen coincidiendo con el inicio de los nortes en la región. Para Río Lagartos, no se

**Tabla 1.** Parámetros de crecimiento de Von Bertanffy de *Panulirus argus* en diferentes áreas.

K	L (mm)	Referencia	Localidad
0.34	141	* Dos Santos <i>et al.</i> , 1964	Ceará, Brazil
0.16	171	* Buesa, 1972	Plataforma cubana
0.215	190	* Munro, 1974	Port-Royal, Jamaica
0.436	153	* Olsen y Kobic , 1975	Islas Virgenes
0.34	190	* Davis, 1977	Cayos de la Florida
0.25	190	* Warner <i>et al.</i> , 1977	Cayos de la Florida
0.2499	190	* Clairvin, 1980	Plataforma Martinica
0.2560	190	* Waugh, 1980	Gran Bahama
0.22	169	Cruz, 1981	Plat. Surocc. de Cuba
0.30	325	González, (En prensa)	Isla Mujeres, Q. Roo. Mex.
0.34	323	Este trabajo	Río Lagartos, Yuc. México
0.36	280	Este trabajo	Punta Allen, Q Roo. México

\*Referencias tomadas de Cruz, 1981

**Tabla 2.** Estimadores de mortalidad natural (M) de *Panulirus argus* por diferentes métodos.

Método	Río Lagartos	Punta Allen
Cruz	0.3359	0.4648
Rikther y Efanov	0.5346	0.5346
Pauly	0.8346	1.1558
Caddy (regresión)	1.0590	1.0940
Promedio de los valores mensuales	1.2261	1.1340

Tabla 3. Variaciones de los estimadores de mortalidad por pesca (fi), mortalidad natural (m) y proporción de individuos de *Panulirus argus* que migran ( $\mu$ ).

	Río Lagartos			Punta Allen		
	fi	m	$\mu$	fi	m	$\mu$
Julio	1.0668	1.0612	0.18	0.8693	1.0650	0.22
Agosto	1.8288	0.2402	-0.14	1.5756	0.3100	-0.07
Septiembre	1.9050	1.7970	0.25	1.5756	1.4960	0.25
Octubre				1.4669	1.8070	0.29
Noviembre	1.0668	1.0612	0.18	1.5212	0.8830	0.14
Diciembre	0.9144	1.1886	0.22	1.4669	1.0950	0.19
Enero	0.3048	1.0552	0.23	1.4862	1.0950	0.18
Febrero	0.3810	1.0180	0.22	0.7063	1.3230	0.28
Marzo	0.3048	2.3872	0.40	0.8149	0.7471	0.13

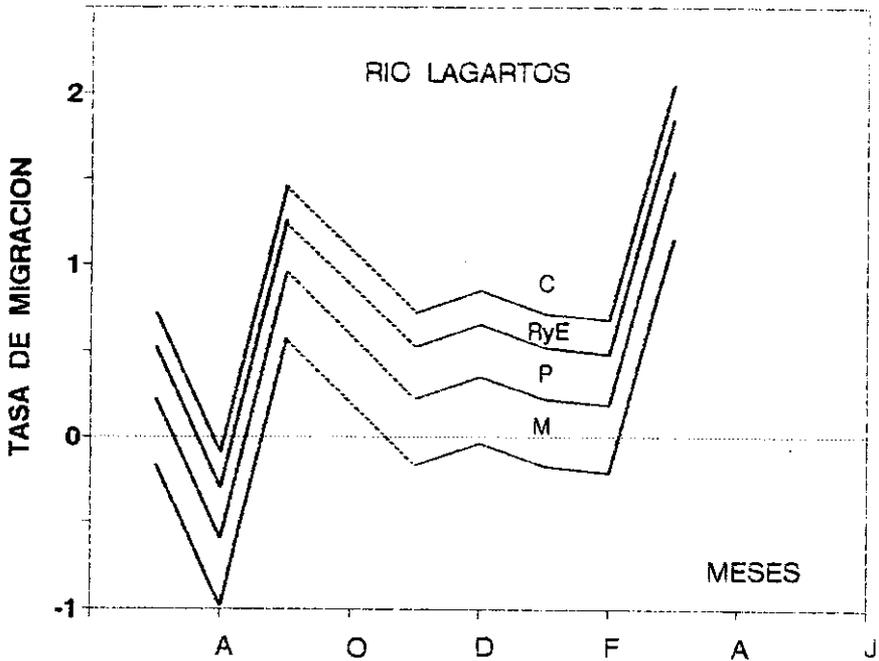
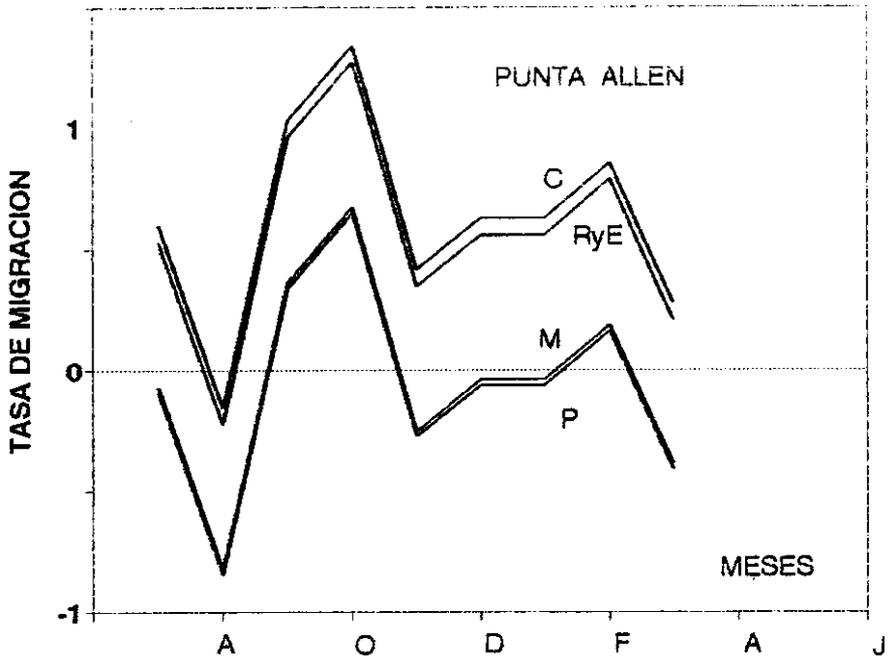


Figura 2. Variaciones de la tasa de migración para Río Lagartos de acuerdo a los diferentes estimadores de M.



**Figura 3.** Variaciones de la tasa de migración para Punta Allen de acuerdo a los diferentes estimadores de M.

dispuso de información durante Octubre ya que las muestras dependen de las capturas comerciales y en ese mes los pescadores dirigen su esfuerzo pesca a la captura de pulpo (*Octopus maya*). Pero éstos han observado un desplazamiento de la langosta en presencia del pulpo (uno de sus principales depredadores). La tendencia mostrada en este caso es similar al de Punta Allen.

En ambas localidades el comportamiento de la migración es similar, aún cuando difiere en magnitud, lo cual se atribuye a las características particulares de cada zona de estudio. En el caso de Río Lagartos la pesquería se desarrolla en la plataforma continental frente a la costa norte de Yucatán, mientras que en Punta Allen, la información analizada corresponde a la porción de la población que reside dentro de la Bahía de la Asención.

Las estimaciones de la proporción de los individuos que migran durante cada intervalo de tiempo ( $m\Delta t$ ) fueron estimados mediante la aplicación de la ecuación (7), mostrándose los resultados en la Tabla 3. En este caso se observó la misma tendencia que para la tasa de migración.

### DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las ecuaciones propuestas para la estimación de la tasa de migración permiten obtener una mayor comprensión de algunos fenómenos ligados a la dinámica de las poblaciones. En este sentido es importante señalar dos aspectos:

Cuando se efectúan estimaciones de mortalidad, la forma más directa es obtener el valor de la mortalidad por pesca quedando en el componente de mortalidad natural incluidos el resto de los procesos poblacionales que involucran cambios en el número de individuos. En consecuencia la posibilidad de obtener un índice de la tasa de migración permitirá obtener mayor precisión en estas estimaciones.

Otro aspecto importante se refiere al caso específico de la inmigración, la cual es, de hecho, una estimación de la tasa de reclutamiento, pudiendo ser esta referida a una población, o bien a un área determinada.

Cabe aclarar que en el caso de la langosta *Panulirus argus* seleccionado como caso de estudio, las estimaciones de la tasa y proporción de migración son válidos para el área de estudio correspondiente, y no necesariamente son extrapolables a la población. Asimismo, proporcionarán información sobre las variaciones en la abundancia de la población que puedan ser debidas a inmigración (como reclutamiento a la población ó al área), o bien a la emigración del área o del stock. No obstante, los estudios de marcaje-recaptura pueden apoyar de manera importante este tipo de estimaciones.

Con respecto a la estacionalidad de las migraciones los resultados muestran que en otoño se manifiesta un pico en la tasa de migración, lo cual coincide con lo reportado para la especie en otras regiones (Herrkind *et al.*, 1973; Ramos, 1974; Fuentes, 1986). Aunque en el caso de los puertos analizados no se dispone de información al respecto, en el área de Río Lagartos los pescadores indican que han observado desplazamientos estacionales de individuos de langosta. En el caso de Punta Allen, las variaciones de

7uDT podrían asociarse más bien a procesos de reclutamiento al área, dado que es un zona semicerrada donde se concentran juveniles.

Por otra parte, es claro que las ecuaciones presentadas son un planteamiento inicial al problema. De hecho, la mayor utilidad de estas podría ser cuando sean ajustadas a eventos particulares para ganar precisión en las estimaciones. Para profundizar en el conocimiento de los aspectos del comportamiento de estos crustáceos es necesario conducir experimentos en el laboratorio y estudios de marcaje-recaptura (ver Herrkind *et al.*, 1973).

En caso de que se disponga de información de la estructura por edades de la población y la biomasa explotada en los períodos (temporada) analizados, se podría obtener una estimación del efecto de la migración (en número de individuos,  $(N_M)$  en el intervalo de tiempo  $\Delta t$  con base en la siguiente expresión:

$$N_M = N_{\Delta t+1} \exp^{1+(m+F)\Delta t} = N_{\Delta t} \exp^{1-v\Delta t} \quad (8)$$

que constituye una modificación a la curva de captura.

Es necesario enfatizar que las estimaciones de la tasa de migración son sensibles a los valores de los estimados de  $m$ , lo cual se reflejará en los valores de la magnitud de la migración, en términos del número de individuos. Asimismo, la posibilidad de contar con información de varias temporadas de pesca podría ser útil para la precisión y estimaciones de varianza de la tasa de migración.

Finalmente, la utilidad relativa de las estimaciones cuantitativas dependerá del objetivo específico de la aplicación y de la complejidad para lograr mediciones precisas; no obstante, probablemente sean de mayor utilidad como una contribución para la comprensión de algunos eventos de la dinámica de las poblaciones.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean manifestar su agradecimiento al Dr. Juan C. Seijo, al M.C. Dilio Fuentes y la Biol. Patricia Arceo por la recopilación de los datos; al Biol. Jorge Ramírez por el procesamiento parcial de la misma y a las Sociedades Cooperativas de Producción Pesquera que facilitaron el trabajo de campo. Deseamos también dejar constancia de nuestro reconocimiento al Gobierno del Estado de Yucatán, México, por el apoyo brindado. Por último, los autores deseamos expresar nuestro agradecimiento a los dos revisores por sus valiosos comentarios al manuscrito inicial del presente trabajo.

#### LITERATURA CITADA

- Aguilar C. M. y M.R. Cobá. 1987. Análisis de la Composición de la Captura de la Pesquería de la Langosta *Panulirus* s en el Norte del Estado de Quintana Roo. Informe Anual de Actividades. Est. Inv. Pesq. Isla Mujeres Q. Roo. I.N.P. 7 p.
- Bertalanffy, von L. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquires on growth laws. II). *Human Biology*. 10(2): 181-213.
- Bhattacharya, G. K. and y A. Johnson. 1977. *Statistical Concepts and Methods*. John Wiley & Sons. Wiley Series in Probability and mathematical Statistics. New York. 639 p
- Caddy, J. 1985. Analysing Seasonal Fishery Data for mortality rate and recruitment. *FAO Inf. Pesq. Supl.* 327:273-285.
- Cruz, R.; R. Coyula y A.T. Ramirez. 1981. Crecimiento y mortalidad de la langosta espinosa (*Panulirus argus*) en la plataforma suroccidental de Cuba. *Rev. Cub. Inv. Pesq.* 89-119.

- Fuentes D. 1986. Estado del Conocimiento Biológico-Pesquero de la Langosta, *Panulirus argus* (Latreille, 1804), en el Caribe Mexicano. Ejercicio Predoctoral. Inst. Pol. Nal. México. 53p
- Gayanilo, F.C.; M. Soriano y D. Pauly. 1988. A draft guide to the Complete ELEFAN. *ICLARM Soft. Ser. Contribution* 435:65p.
- González, C. J. (En Prensa). Assessment Analyses and Managment Options for the Lobster Fishery in the Mexican Caribbean. Taller sobre manejo de la Pesquería de Langosta. Comité Tecnico Consultivo de Langosta. Instituto de Ciencias del Mar Limnología Puerto Morelos Q. Roo., Mex. Junio 1988.
- Herrkind, W.F.; J. Kanciruk; J. Halusky; R.McLean. 1973. Descriptive characterization of mass autumnal migration of spiny lobster, *Panulirus argus*. *Proc. Gulf and Carib. Fish. Inst.* 25:78-99.
- Instituto de Geofísica. Calendario de Mareas. Golfo de México y Mar Caribe. ISSN0018-6619.
- Kanciruk, P. 1980. Ecology of juvenile and adult (Spiny lobster). In: *The biology and management of lobsters*. Cobb, J. and B. Phillips (ed). Academic Press, USA. 2:59-92.
- Kirkwood, G.P. 1984. Modelling of the Gulf of Carpenteria prawn fisheries. In: *Penaeid shrimps - their biology and management*. Gulland, J. and B. Rothschild (eds.). Fishing New Books, England.
- Paloheimo, J. 1961. Studies on estimation of mortalities. I. Comparison of a method described by beverton and Holt and a new linear formula. *J. Fish. Res. Board Canada*. 8(5):645-662.
- Pauly, D. 1980. On the interrelationship between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 9(2): 175-192.
- Ramos. 1974. El recalón de Contoy. Est. de Inv. Pesq. Isla Mujeres Q. Roó. *Bol. Informativo*. (1):2-4 p.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Canada*, 191.
- Rikther, V.A. and V.M. Effanov. 1977. On a approach for estimating natural mortality rates in fish population. *Trudy Atlant NIPO* 73: 77-86.