

# Monitoreo de la Abundancia de Juveniles de Langosta *Panulirus argus*: Desarrollo de un Protocolo de Muestreo Basado en Hábitats Artificiales

ELOY SOSA-CORDERO y ANGÉLICA RAMÍREZ GONZÁLEZ

*Departamento de Pesquerías Artesanales.*

*El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)- Unidad Chetumal.*

*Carretera Chetumal-Bacalar Km. 2. Zona Industrial No. 2.*

*Chetumal, Quintana Roo, MEXICO CP 77000*

## RESUMEN

Este proyecto se llevó a cabo en Bahía de la Ascensión, durante dos años, con el propósito de aportar bases metodológicas y estadísticas para un programa de monitoreo de la abundancia de juveniles de langosta *Panulirus argus*, como índice de reclutamiento. La investigación comprendió aspectos de tipo práctico, con el diseño y prueba de diferentes artes de muestreo, para lo cual se corrió un experimento comparativo entre dos tipos de minicasita levable y el condominio cubano. Aunque con este último se obtuvo capturas superiores, en la siguiente etapa se empleó también la minicasita porque no requería de buceo libre y su revisión consumía menos tiempo que el condominio. Seguidamente fue establecida en Bahía de la Ascensión una red de 22 estaciones, doce estaciones de condominios y diez estaciones de minicasitas. A partir de los datos de abundancia registrados en esta red fue posible efectuar análisis sobre aspectos estadísticos del muestreo. En primer lugar, con evidencia de tipo experimental y observacional, se encontró que la

[Metadata, citation and similar](#)

muestreo con fines de monitoreo. En consecuencia, los condominios resultaron un arte apropiado para el monitoreo local y regional de abundancia relativa de juveniles de *P. argus*, como índice de reclutamiento. Se aplicó un enfoque de optimización que además de suponer la abundancia como Binomial Negativa, considera el tamaño de la unidad de muestreo ( $tum$ ) y restricciones de costos -con tiempo en el mar como costo. Según este análisis, el actual  $tum = 17$  min ó 2 condominios/estación, puede ser reducido a  $tum_{opt} = 5$  min ( $< 1$  condominio/estación). Para costos restringidos a tres días en el mar, y  $tum = 1$  condominio/estación (9 min) se obtuvo  $n_{opt} = 37$  estaciones, con una precisión asociada de 27% en la estimación de la abundancia media. Con este último resultado se estiman los costos totales al año para el monitoreo óptimo de juveniles de langosta en cuatro localidades de Quintana Roo, donde se ubican las principales áreas de crianza de langosta. De este trabajo surge un llamado a hacer el esfuerzo necesario para comenzar programas regionales de monitoreo, recuperación poblacional ("enhancement"); así como investigaciones ecológicas, y acciones de protección, en las principales áreas de crianza de este valioso recurso regional.

**PALABRAS CLAVES:** Índice de reclutamiento, precisión de muestreo, tamaño de muestra, juveniles posalgaes de langosta

## **Monitoring the Abundance of Juvenile Spiny Lobsters *Panulirus argus* at Local Scale: Developing a Sampling Protocol Based on Artificial Habitats**

The current discussion on key issues regarding reef resources such as connectivity and the open vs closed nature of populations, has led to a re-assessment of the value of recruitment measurements at local and regional scales for reef fish and invertebrates. In open populations at local scale, the recruitment is decoupled from the reproductive activity of adult stock, and generally, the recruits come from foreign, often unknown, sources. Due to their life history characteristics –with early stages having a long pelagic life, and the complexity of the current systems prevailing in the region, it is very likely that local populations of spiny lobster *Panulirus argus* (from a bay, island or oceanic bank) behave as open populations. Under these circumstances, it is mandatory to monitor the recruitment because then recruitment becomes equivalent to natality. We present a progress report on the developing of a sampling protocol to estimate the abundance of postlarval juveniles of spiny lobster as a recruitment index at local level. In particular, we deal with an index of (relative) abundance based on the use of artificial habitats as sampling gears. Our results include aspects related to the precision of the index and sampling under restrictions due to sampling cost, expressed as days at sea. The fieldwork has been done at Bahía de la Ascensión, located in the Biosphere Reserve Sian Ka'an; hence, we also report the spatio-temporal patterns of the abundance of juvenile lobster at that locality. Finally, we discuss the pros and cons of our sampling protocol.

**KEY WORDS:** Recruitment index, sampling precision, sampling size, postlarval juveniles of spiny lobster

### **INTRODUCCIÓN**

La fluctuación de efectivos (“stocks”) ha sido un tema central en la ciencia pesquera como rama de la ecología aplicada desde inicios de siglo, cuando Hjort (1914) postuló que la variación interanual de la fuerza de la clase anual a) era determinada en estadios de vida tempranos, antes del reclutamiento a la pesquería, y b) no era una función simple del tamaño del efectivo progenitor. En los 1980s resurgió el interés en temas de reclutamiento y ecología de estadios tempranos de vida en poblaciones de peces (Lasker 1981, Bakun et al. 1982, Sissenwine 1984, Fogarty et al. 1991) e invertebrados – se refieren sólo citas de crustáceos de la familia Palinuridae (Kanciruk 1980, Phillips y Sastry 1980, Caddy 1986, Herrnkind y Butler 1986, Herrnkind et al. 1994). De entre las numerosas poblaciones marinas que poseen fases tempranas pelágicas, es probable que algunas sean poblaciones abiertas; es decir, a escala local, el reclutamiento y la actividad de los reproductores están desacoplados (Caley et al. 1996). Entonces, a una localidad dada llegarían reclutas cuyo origen se localiza corriente arriba, y a su vez los propágulos de

reproductores locales abastecen a las áreas situadas corriente abajo. En esta situación, se incrementa la necesidad de estimar el reclutamiento en poblaciones abiertas, en las que el reclutamiento equivale a la natalidad o número de nacimientos (Caley et al. 1996).

El reclutamiento a la pesquería o ingreso de nuevos individuos al segmento explotable de la población es un proceso aditivo influyente en la abundancia de poblaciones sometidas a alta presión de pesca. El renovado interés por el reclutamiento ha llevado a usar de modo amplio el término; por tanto es necesario señalar con precisión reclutamiento a cual fase, estadio o edad hacemos referencia (Caley et al. 1996). La relación efectivo-reclutas persiste aún como un problema difícil e importante en evaluación de recursos; sobre todo cuando el colapso de varias pesquerías ha estado asociado con severas reducciones del reclutamiento (Hilborn y Walters 1992). El estudio del reclutamiento demanda contar con datos no sólo de la pesquería (Bakun et al. 1982), sino que requiere también muestreos de estadios juveniles cuyo hábitat y conducta a menudo difieren del adulto; aunque es común emplear índices de ocurrencia de tallas menores en la captura comercial, pesca incidental o fauna de acompañamiento.

#### **La Langosta *Panulirus argus***

La langosta *P. argus* es un recurso soporta una alta presión por pesca y alteración de hábitats en la macro-región del Caribe y áreas adyacentes. Esto se aplica también al caso de Quintana Roo, donde *P. argus* es el principal recurso pesquero y soporta un alto nivel de esfuerzo.

La especie es de ciclo de vida complejo; con cinco estadios principales: adulto, huevo, larva, poslarva y juvenil (Lipcius y Cobb 1994, Herrnkind y Butler 1997). La reproducción y desove tienen lugar en aguas profundas del arrecife anterior. Del huevo eclosiona la filosoma, larva pelágica que pasa 6 - 12 meses a merced de las corrientes. De la filosoma surge una poslarva (puerulo) que nada hacia la costa y se asienta en fondos con vegetación, sobre todo algas rojas *Laurencia* spp, raíces de mangle y estructuras de arquitectura compleja. Una semana después del asentamiento, el puerulo se transforma en juvenil de vida béntica. Los juveniles pasan 15 - 30 meses en áreas de crianza, y al crecer se mueven a aguas profundas, lo que genera estratificación de tallas con profundidad y tipo de hábitat (Lipcius y Herrnkind 1989).

#### **Reclutamiento y Predicción de Capturas en Langostas Espinosas**

Las fluctuaciones poblacionales en langostas espinosas obedecen a factores bióticos y abióticos que actúan sobre diferentes estadios; su dinámica poblacional se supone controlada por fuerzas estocásticas junto con regulación densodependiente (Lipcius y Cobb 1994). Los factores estocásticos operan en larvas y poslarvas, los densodependientes en juveniles. En lo estocástico, influyen los regímenes meteorológico y oceanográfico que prevalecen en una región (Lipcius y Cobb 1994). Acerca de la denso-dependencia, se sospecha la existencia de "cuellos de botella" demográficos en juveniles, cuando es probable que haya escasez de refugios

apropiados (Caddy 1986, Arce et al. 1997, Sosa-Cordero et al. 1998).

El reclutamiento en palinúridos se estima por el asentamiento de puerulos en estructuras artificiales de variado diseño (Witham et al. 1968, Phillips 1972, Booth 1979, Briones-Fourzán y Gutiérrez Carbonell 1991), índice de sublegales en la captura (Caputi y Brown 1991), arrecifes de bloques (de León et al. 1991) y minicasitas (Arce et al. 1997). Con otros fines se han usado diversas estructuras (Herrnkind y Butler 1994, Mintz et al. 1994, Lozano-Alvarez et al. 1994). En este campo influyen mucho las investigaciones sobre *Panulirus cygnus* de Australia, ahí el asentamiento de puerulos en artefactos flotantes –como índice de reclutamiento– permite predecir con éxito la captura 4 años después (Phillips 1986). Así, el reclutamiento a la pesquería lo determina el ingreso de poslarvas, más que una limitada capacidad de carga en las áreas de crianza. La predicción de las capturas mejora al combinar índices de puerulos y de juveniles (Brown y Caputi 1991); ambos se complementan, el índice de puerulos apoya la predicción de captura a mediano plazo (4 años) y el índice de juveniles mejora la predicción a corto plazo, la captura del año siguiente.

### Objetivos

El presente trabajo presenta resultados de investigación dirigidas a desarrollar un programa de monitoreo de la abundancia relativa de juveniles posalgaes de langosta *Panulirus argus*, a través del empleo de hábitats artificiales. Este índice sería un predictor del reclutamiento a la pesquería, 1-1.5 años después. Para ello se abordan aspectos prácticos como la selección del arte de muestreo y aspectos estadísticos que permitan recolectar con eficiencia datos de abundancia de juveniles. El trabajo de campo se efectuó en Bahía de la Ascensión durante dos años, 1998-1999. Finalmente, se estimó el costo de un programa de monitoreo regional (Quintana Roo, México) de la abundancia de langostas juveniles, y se discute el alcance de los resultados.

## MÉTODOS

### Muestreo de Juveniles

Los muestreos mensuales fueron hechos con una lancha ballenera de fibra de vidrio, de 8.24 m de eslora y motor fuera de borda (40 HP). Cada estación de condominios tenía dos estructuras que eran revisada por buceo libre, uno a dos buceadores por estación. Las langostas juveniles eran primero contadas y luego capturadas con redes de cuchara. Las langostas capturadas eran llevadas a bordo para tomar datos de talla, longitud de carapacho a la 0.1 mm más cercana, y determinación de sexo. Los individuos capturados eran mantenidos vivos y liberados uno por uno en hábitats similares a una distancia de 0.6 - 1 km de la estación de recolecta. Por tanto, en cada ocasión de muestreo las estructuras eran clareadas; lo que también se aplicó a otros taxa que ocupaban las estructuras. Se

procuró que la manipulación de los individuos capturados fuera lo menos traumática posible.

En las estaciones de minicasitas, con cuatro estructuras cada una, las estructuras eran cobradas desde cubierta, se revisaba la presencia de morenas o rayas, y después su contenido se vaciaba en cubetas. El contenido era revisado sobre un tamiz de malla gruesa y se eliminaba el exceso de vegetación en la abertura de entrada. La captura de la minicasitas era procesada de igual forma que la descrita para condominios.

La construcción de minicasitas siguió el diseño de la minicasita levable tipo-1. Esta estructura tiene un marco metálico de varilla corrugada, rectangular de 80 x 70 cm, a la que se adapta una cubierta de concreto sobre la parte superior y en dos caras laterales, una tercera cara lateral se forra de malla metálica inoxidable y opuesta a esta última, la cuarta cara lateral constituye la entrada de altura 4 cm. Esta dimensión es crítica para definir el acceso a la minicasita. La superficie opuesta al techo de concreto, que hace contacto sobre el fondo también fue forrada de malla de criba.

El condominio es una estructura simple formada por 16 bloques de concreto. Se colocan sobre el fondo los primeros ocho bloques, en un arreglo cuadrangular de dos bloques por lado; sobre ellos se coloca un segundo juego de ocho bloques en arreglo similar – a modo de segundo piso. Es crítico el tamaño de los orificios del bloque; nosotros usamos el bloque más pequeño disponible en el mercado 40 cm x 20 cm x 10 cm., cada uno con tres orificios 10.2 cm x 3.8 cm. Otra vez, esta dimensión de 3.8 es crítica para definir el acceso a los orificios del bloque. Este bloque posee dimensiones muy similares al usado en Cuba (de León et al. 1991).

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Comparación de Condominios vs Minicasitas como artes de Muestreo

*Primera etapa: experimento de corto plazo* — Fueron comparadas tres diferentes tipos de estructuras como arte de muestreo de langosta: minicasita levable - 1, minicasita levable - 2 y condominio cubano, en un experimento de campo con diseño de bloques completos aleatorizados BCA (Sokal y Rohlf 1995). Los bloques fueron cuatros sectores o áreas de Bahía de la Ascensión: Río, Vigía Chico, Tres Marías y Cayo Valencia. El diseño BCA considera aleatorio al efecto de bloques -áreas y admite de entrada que las áreas difieren en factores no controlados abióticos: tipo de fondo, refugio disponible, temperatura, salinidad; y bióticos: asentamiento de poslarvas, abundancia de predadores y presas. El factor fijo fue tipo de estructura, cada una con diferente capacidad de atracción, por lo que interesa evaluar cómo esto afecta su ocupación por juveniles. El objetivo del diseño es evaluar la significancia del efecto del factor fijo, tipo de estructura (tratamiento). Fueron colocadas cuatro estaciones, una por sector selecto de la bahía (Tabla 1). Cada estación con cuatro estructuras: dos minicasitas levables - 1, una minicasita levable - 2 y un condominio

cubano. La variable de respuesta fue captura total acumulada, número de individuos juveniles de langosta, en las recolectas mensuales de julio a noviembre de 1998 (Tabla 1). Usar esta variable, en vez de valores mensuales, evita la práctica controversial de tomar los datos de conteos secuenciales como réplicas o mediciones repetidas independientes.

En la Tabla 1 se aprecian algunas tendencias. De Julio a Noviembre, la captura total de juveniles de langosta fue de 118 individuos; el grueso de esta captura, 78 individuos (66 %), se obtuvo en condominios cubanos. A su vez, del total capturado, la mayor parte, el 58.5% (69 individuos), provino de una sola estación: Cayo Valencia. Así, en cuanto a tipo de estructura, el condominio cubano tuvo capturas visiblemente superiores; y en cuanto a estaciones, destacó Cayo Valencia (Tabla 1).

Tabla 1. Captura total de juveniles de langosta, en número, acumulada de julio a noviembre de 1998 en las diferentes estructuras (tratamientos) y estaciones (bloques) en Bahía de la Ascensión. Datos sin transformar.

ESTACIONES (Bloques)	TIPOS DE ESTRUCTURA		(Tratamientos)	
	<i>Minicasita levable-1</i> a	<i>Minicasita levable-2</i> b		Condominio cubano
Río	1	2	2	6
Vigía Chico	1	0	0	2
Tres Marías	0	0	0	35
Cayo Valencia	8	10	16	35

A la captura total se aplicó un análisis de varianza (anova) bifactorial, sin repeticiones. Al diseño BCA corresponde un anova de modelo mixto (Sokal y Rohlf 1995). El factor fijo fue tipo de estructura y el factor aleatorio los bloques: estación o área (Tabla 2). La captura total, X, fue antes transformada a  $(X+0.5)^{0.5}$ . Las comparaciones de medias *a posteriori* aplicaron las pruebas de Tukey-Kramer (Sokal y Rohlf 1995). Según el anova, bajo un  $\alpha=0.05$ , la captura de juveniles de langosta varió significativamente con el tipo de estructura ( $F_s = 5.89$ ,  $p = 0.017$ ) (Tabla 2). Las comparaciones de medias *a posteriori* no detectaron cuáles medias (estructuras) ocasionaron la significancia en el anova; pero la captura, en número de juveniles, de los condominios cubanos fue muy superior a las capturas de las estructuras restantes, e incluso mayor que la suma combinada de dichas capturas (Tabla 1). Los principales supuestos del anova fueron cumplidos satisfactoriamente.

Tabla 2. Tabla del anova bifactorial<sup>a</sup> de la captura total de juveniles, X: no. de individuos, de julio a noviembre 1998, transformada a  $X' = (X + 0.5)^{0.5}$ . Anova de modelo mixto. El factor fijo es tipo de estructura: tres minicasitas levables, dos de diseño-1, una de diseño-2 y un condominio cubano. El factor aleatorio, bloque, son las cuatro estaciones en diferentes áreas de la bahía.

Fuente de Variación	g. de L.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F <sub>a</sub>	P
Tipo de estructura (Factor fijo)	3	19.1634	6.3878	5.885 <sup>b</sup>	0.0166 <sup>c</sup>
Area o Estación (Bloque)	3	16.2032	5.4011	4.976 <sup>c</sup>	0.0264 <sup>c</sup>
Estructura x área (Interacción)	9	9.7688	1.0854		

Notas: a) sin repeticiones; b)  $F_a = CM_E / CM_{E/A} = 6.3878 / 1.0854$  sin suponer interacción nula o no-significativa; c)  $F_b = CM_A / CM_{E/A} = 5.4011 / 1.0854$ , requiere que la interacción sea no-significativa.

El experimento dió bases para tomar dos decisiones prácticas para el proyecto. Primero, la decisión de usar simultáneamente dos artes de muestreo, minicasitas levables y condominios en la siguiente etapa del proyecto de monitoreo. El argumento fue que la ocupación de una estructura es sólo un criterio, aunque las minicasitas arrojan menores capturas entre sus ventajas están un menor tiempo de revisión y que no dependen del buceo. Segundo, dado el nivel de captura por arte registrado en el experimento; decidimos que en la segunda etapa, una estación de condominios la formasen dos condominios y una estación de minicasitas levables tuviese cuatro minicasitas. El espaciamiento entre los condominios vecinos fue de 25 metros, igual que entre minicasitas a lo largo de una sola línea recta.

*Segunda etapa: patrones de abundancia a mediano plazo* — De Marzo a Diciembre de 1999 fueron monitoreadas mensualmente 22 estaciones: doce de condominios y diez de minicasitas levables (Figura 1). Algunas estaciones ubicadas relativamente cerca entre sí; podrían considerarse estaciones pares. En el caso de Xoken, Cayo Valencia y Cedros las estaciones pares, una de minicasitas y otra de condominios, estaban muy próximas, ~0.3 - 0.5 km entre sí. Otras estaciones pares, i) Río (c)-Río (m), ii) Culebras (c)-Canal (m), e iii) Colonia (c)-Faro (m) también estuvieron próximas entre sí, a distancias de 0.5 a 1.5 km. Por tanto, los registros de abundancia de estos pares de estaciones permiten comparar, a mediano plazo, las dos artes de muestreo. Ello complementa el primer experimento comparativo arriba descrito, de corto plazo; con diseño limitado a cuatro bloques, y pequeño número de unidades de muestreo por estación: un condominio y tres minicasitas.

En la Figura 2 se aprecian los patrones temporales de ocupación o abundancia relativa en estos pares de estaciones. En cuatro de seis casos: Xocen, Valencia, Cedros y el par Culebras-Canal durante los meses primaverales los patrones de abundancia fueron relativamente similares, pero los notorios picos de meses otoñales

sólo fueron registrados en condominios (Figura 2). En el período otoñal hubo gran diferencia, a favor de los condominios, en la ocupación registrada en el par de Cayo Valencia y el par Cayo Culebras-Canal (Figura 2). Esto sería un primer indicio de un posible comportamiento de saturación de las minicasitas, sobre todo en períodos en los que ocurren puisos estacionales de alta abundancia de juveniles.

Por la evidencia de un posible efecto de saturación en las minicasitas, sobre todo a altos valores de abundancia relativa, se consideró que las minicasitas llevables—del diseño aquí empleado, no son recomendables como artes de muestreo para monitoreo a largo plazo de la abundancia de juveniles de langosta; aunque las minicasitas fueron ocupadas por un elevado número de peces y crustáceos pudieran tener potencial para monitoreo de otras grupos de fauna arrecifal.

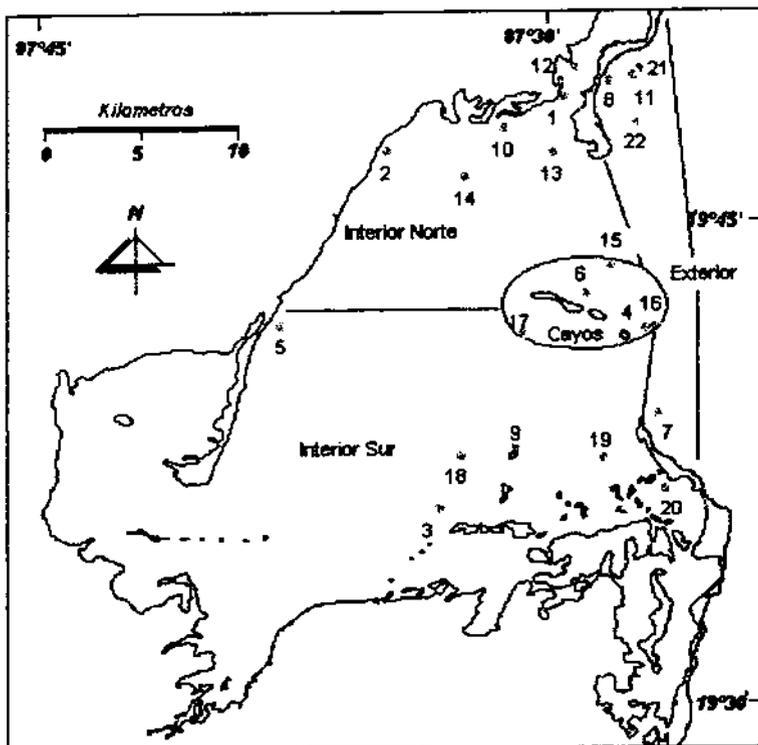


Figura 1. Área de estudio, Bahía de la Ascensión, las cinco áreas o estratos considerados y la red de 22 estaciones de muestreo. Doce estaciones de condominios (# 1 a # 12) y diez estaciones de minicasitas (# 13 a # 22).

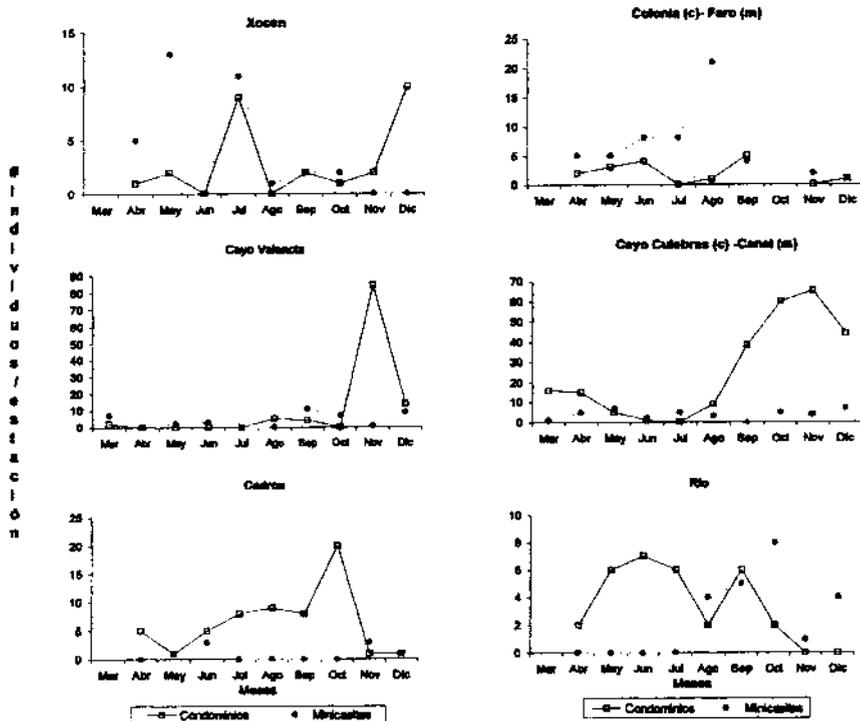


Figura 2. Comparación de la abundancia mensual de juveniles de langosta, individuos/estación, en pares de estaciones vecinas, pero de diferentes artes: condominios vs minicasitas. Los pares del lado izquierdo son estaciones más cercanas entre sí, distancia máxima 0.5 Km; que los pares de estaciones del lado derecho, con distancia entre sí de 0.6- 1.5 Km.

### Muestreo en Una Red de Estaciones, Muestreo Óptimo con Condominios

*Abril-Diciembre de 1999. Monitoreo en 22 estaciones* — Una vez emplazada la red completa de 22 estaciones en Bahía de la Ascensión (Figura 1), comenzó formalmente el monitoreo mensual de la abundancia relativa de juveniles de langosta *Panulirus argus*. Por lo tanto, esta fase del monitoreo mensual comprendió nueve meses, de abril a diciembre de 1999. Esto permitió abordar aspectos estadísticos del muestreo —sin obviar los aspectos prácticos. Son consideradas algunas cuestiones sobre índices de precisión de las estimaciones de abundancia relativa promedio mensual, los modelos probabilísticos que puede seguir esta variable abundancia relativa; el tamaño de muestra  $n$ , en número de estaciones de muestreo

independientes, y el tamaño de la unidad de muestreo (*tum*) que representa de manera aproximada el número de estructuras en cada estación.

El muestreo siguió un diseño aleatorio simple (Cochran 1977). No obstante, suponer que las estaciones fueron emplazadas al azar es una hipótesis de trabajo razonable para fines del análisis. En la práctica, la elección de sitios donde se colocaron estaciones no fue enteramente aleatoria. Por un lado, se trató de cubrir ciertos sectores o estratos de la bahía (Figura 1); en particular, cinco:

- i) Exterior de la bahía-Norte, con hábitats propios de laguna arrecifal, desde Punta Xoken a frente de los Cayos centrales;
- ii) Exterior de la bahía-Sur, hábitats similares al anterior, desde frente de los Cayos Centrales a Punta Pájaros;
- iii) Cayos centrales, con hábitats bénticos de alta cobertura de macroalgas y pastos marinos, cerca de márgenes de manglar;
- iv) Interior de la bahía-Norte, hábitats de menores cobertura de pastos y macroalgas, cerca de márgenes de manglar, pequeñas lagunas costeras, y presencia de fondos fangosos y rocosos; y
- v) Interior de la bahía-Sur, similar al anterior pero con presencia de varios cayos, canales y lagunas bordeadas de manglar.

Quedó fuera una gran porción central de la bahía; que los pescadores tampoco usan como área de pesca de langosta por poseer fondos sin vegetación, fango con rocas dispersas, y sobre todo alta turbidez en todo el año.

Por otra parte, la ubicación de estaciones dentro de cada sector, fue de primera intención aleatoria; con elección de números aleatorios para definir las coordenadas geográficas de cada estación, pero también fue influenciada por cuestiones prácticas como evitar fondos fangosos y extensas áreas sin vegetación o arenales. Otro factor fue encontrar pescadores que permitieran el acceso a sus campos del grupo de investigación en todo tiempo (veda incluida); así como un grado de colaboración en el cuidado de las estaciones de muestreo.

*Abundancia por estación de condominios: observaciones y modelos* — En el análisis de muestreo óptimo, la variable central es la abundancia relativa de juveniles de langosta *Panulirus argus*, en número de individuos por estación, exclusivamente para condominios. El análisis abarca el período de nueve meses, de abril a diciembre de 1999, en el que fueron obtenidos datos de abundancia relativa en la red completa de 22 estaciones (Figura 1).

Cuando se emplean artes activos como redes de arrastre y transectos o cuadrantes, al llegar a la estación se activa el equipo de muestreo y el tiempo define el tamaño de la unidad de muestreo, porque éste define el tamaño del área barrida o volumen filtrado. En cambio, con artes estacionarios, ocupar una estación significa revisar estructuras – condominios, que han operado por cierto tiempo de calado (“soak time”) y han ejercido su influencia atractora sobre un área definida. Esta última, depende del diseño y dimensiones de la estructura así como del número de estructuras por estación. El tiempo de calado, tiempo entre una revisión y otra, no se incluye en el presente análisis porque se mantuvo relativamente constante, con

diferencia de pocos días. También, en cada muestreo mensual fue uniforme entre estaciones, ~1 día de diferencia. Por tanto, el tamaño de la unidad de muestreo (*tum*) es el número de estructuras, dos condominios o cuatro minicasitas, por estación. El tamaño de muestra (*n*) estuvo dado por el número de estaciones. El número de individuos por estación es un índice de abundancia relativa porque se desconoce el tamaño del área de influencia de cada estructura, sobre la que una estructura de cierto tipo ha operado durante el tiempo de calado.

Si la abundancia relativa es vista como variable aleatoria, surge entonces la interrogante de cuál modelo o distribución de probabilidad sigue. Hay abundante literatura acerca de cómo se comporta la abundancia en poblaciones marinas, que usualmente sigue distribuciones de tipo asimétrico, o de tipo contagioso como la Binomial Negativa para el caso discreto, la log-normal para el caso continuo (Seber 1982, 1986, Pennington y Volstad 1991, Hilborn y Mangel 1997).

Se obtuvo la mediana de valores mensuales  $\bar{x}$  y  $s^2$  para el período de Abril a Diciembre; así como para dos intervalos: i) baja abundancia: Abril - Agosto, ii) alta abundancia: Septiembre - Diciembre. De las estimaciones muestrales, cada mes fue estimado el parámetro *k* de la Binomial Negativa por el método de momentos

$$k = \frac{(\bar{x})}{(s^2 - \bar{x})}$$

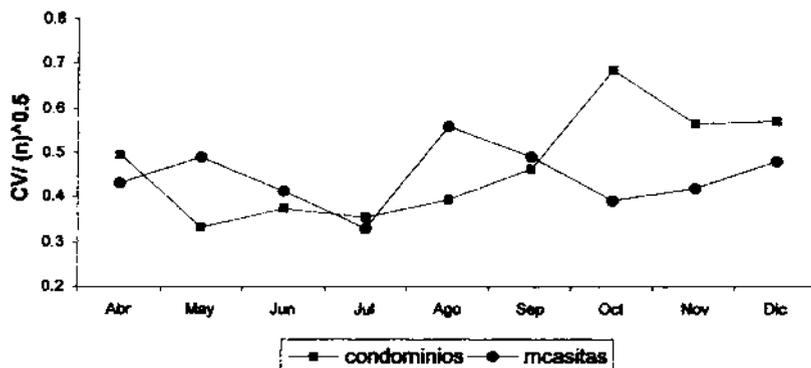
(Elliot 1977, Hilborn y Mangel 1997) para datos de condominios. Fue calculada la mediana de las estimaciones mensuales de *k*, como valor representativo de cada uno de los tres períodos, ya citados.

*Precisión de la media estimada, índice K* — Una primera idea de la precisión de las estimaciones mensuales de abundancia media de juveniles de langosta en la red de 22 estaciones de Bahía de la Ascensión, es dada por el índice de precisión aplicado a la media estimada. Este índice bien conocido, se denomina coeficiente de variación de la media,

$$CV \bar{x} = \frac{s}{\bar{x} \cdot \sqrt{n}}$$

En condominios, los valores mensuales del índice de precisión tendieron ligeramente a ser estables de Abril a Agosto, y aumentaron en el siguiente, Septiembre a Diciembre (Figura 3).

La cuestión del tamaño de muestra *n*, número de observaciones independientes que integra una muestra, a partir de la que se estiman parámetros poblacionales, es un asunto central en el muestreo de poblaciones biológicas (Elliot 1977, Seber 1982, 1986, Hilborn y Mangel 1997). Existen varios métodos y aproximaciones para determinar tamaños óptimos de muestra.



**Figura 3.** Índice de precisión K registradas para las medias mensuales estimadas de abundancia de langostas juveniles; para estaciones de condominios y minicasitas. El índice K estima el coeficiente de variación de la media, a partir de estimaciones muestrales de varianza y media.

*Muestreo óptimo, Precisión, y Tamaño de la Unidad de Muestreo ante Restricciones* — Por tanto, es de interés práctico conocer aproximaciones a la optimización de muestreo que hacen explícitas las restricciones; en particular en dos situaciones: a) costos fijos,  $C$ —en cuyo caso conviene minimizar  $K$ ; y b)  $K$  fija—en cuyo caso se busca minimizar los costos. Además, este enfoque introduce un factor no incluido en los métodos vistos previamente: el tamaño de la unidad de muestreo o *tum*.

Varios autores han abordado en forma general la cuestión de muestreo con restricciones (Cochran 1977, Sokal y Rohlf 1995). En aplicaciones en ecología marina destacan las aproximaciones desarrolladas por Lenarz y Adams (1980) y de Pennington y Volstad (1991). Estos últimos autores tratan el asunto desde la perspectiva de relevamientos (“surveys”) en cruceros dirigidos a estimar la abundancia poblacional de recursos, donde es conveniente expresar los costos en tiempo de trabajo en el mar (horas, días). En particular, estos autores consideran poblaciones que siguen la Binomial Negativa,  $BN(m, k)$  de parámetros  $m$  y  $k$ ; o poblaciones cuyos datos de abundancia cumplen la relación de Taylor. En el contexto de este trabajo, la situación bajo análisis coincide con lo planteado por Pennington y Volstad (1991). Sin embargo, el presente trabajo tiene un par de diferencias fundamentales. Uno, tales autores consideran el uso de redes de arrastre; con el tamaño de unidad de muestreo (*tum*) definido por el tiempo en que operan un equipo de muestreo. Aquí, con artes estacionarias, ocupar una estación consiste en recuperar -revisar

estructuras que han operado por un determinado tiempo de calado ("soak time") sobre el área de influencia del arte. El  $tum$  sería el producto del número de estaciones por esta área unitaria de influencia. Entonces, el tiempo en la estación aquí sólo refleja el tiempo de revisión de un número dado de estructuras. Dos, Pennington y Volstad (1991) representan la función de costos vs  $n$ , número de estaciones, mediante una relación no-lineal. En nuestro caso la relación es lineal. A partir de estas diferencias, fueron elaboradas extensiones a las ecuaciones de los autores citados (Sosa-Cordero, no publicado). Aquí fue empleado también el costo en tiempo en el mar para expresar los recursos que necesitan los muestreos efectuados durante el período de estudio, dirigidos a estimar la abundancia relativa de juveniles. Para ello, sirvieron de base los registros de tiempo dedicado a diferentes actividades durante los recorridos mensuales en la red de 22 estaciones, de Abril a Diciembre de 1999 (Tabla 3). Estos datos, clasificados con el enfoque de Pennington y Volstad (1991), permitieron definir los valores que correspondieron a los tiempos siguientes:

$c_1$ , es tiempo (min) de maniobra de ocupar (llegar a) una estación, y preparativos para revisión;

$c_2$ , es tiempo (min) de viaje entre estaciones, expresado en tiempo de viaje/estación, que supone se ha seguido la ruta de longitud mínima;

$tum$ , tamaño de la unidad de muestreo, comprende el tiempo de revisión, colecta y medición en cada estación, al reflejar el número de estructuras revisadas, es descriptor del  $tum$  real;

Para las estaciones de condominios, de los registros de campo (Tabla 3) sobre los tiempos arriba citados, quedaron definidos los valores siguientes:  $c_1 = 8$  min.,  $c_2 = 22$  min., y  $tum = 17$  min. Estos últimos valores y las estimaciones muestrales de los respectivos parámetros poblacionales fueron introducidas a las ecuaciones respectivas para determinar valores óptimos de tamaño de muestra ( $n_{opt}$ ) y tamaño unitario de muestra ( $tum_o$ ). Para ambos casos, si la abundancia sigue la Binomial Negativa o cumple la relación de Taylor y diferentes niveles prefijados de precisión  $K$ , se presentan las estimaciones muestrales de los parámetros usadas y los resultados de aplicar las ecuaciones a los datos de abundancia de las estaciones de condominios (Tabla 4).

De este análisis se desprenden tres resultados principales. Uno, el análisis sugiere reducir el tamaño de la unidad de muestreo ( $tum$ ) en estaciones de condominio; de hecho, el  $tum$  óptimo estimado ( $tum_o = 5.2$  min) en términos proporcionales significaría revisar menos de un condominio por estación. De ahí que el análisis haya considerado como opción práctica usar un  $tum$  equivalente a un condominio (Tabla 4). Dos, con  $tum$  de 9 min., equivalente a un condominio por estación, es posible alcanzar un nivel de  $K$  fijado en 25 %, con solamente 10 estaciones (Tabla 4). Extrapolado esto a un  $tum$  igual al usado,  $tum = 17$  min ó dos condominios/estación; entonces, sería factible cubrir  $n \geq 20$  estaciones lo que aumentaría la precisión (disminuye  $K$ ). Tres, con  $tum = 9$  min., para un costo fijo

en 3 días de muestreo se podría alcanzar  $n = 37$  estaciones de condominios, asociado a un  $K = 0.27$  (Tabla 4).

**Tabla 3.** Tiempos (en min) dedicados a diferentes actividades en las campañas mensuales de monitoreo de juveniles de langosta. Se indica  $n$ , el número de estaciones de cada tipo que fueron revisadas al mes. Se incluyen estaciones de dos tipos emplazadas en Bahía de la Ascensión.

Mes	n	Tiempo/ estación minicasitas	n	Tiempo/ estación condominios	Tiempo de viaje	Tiempo total
Abril	10	166	12	229	452	847
Mayo	10	224	12	315	368	907
Junio	10	128	12	154	498	780
Julio	10	175	12	231	552	958
Agosto	10	244	12	194	362	800
Septiembre	10	189	12	270	363	822
Octubre	10	178	10	303	389	870
Noviembre	10	150	12	332	376	858
Diciembre	10	106	11	149	581	836

En síntesis, bajo la suposición que la abundancia por estación sigue una distribución Binomial Negativa (BN), con estimaciones muestrales de media, varianza y  $k$ -BN; con restricción de costos, el análisis incorpora el *tum*, se sugiere reducir el *tum* de estaciones de condominios (*tum* = dos condominios o 17 min), hacerlo menor a dos condominios por estación. Esto abre la posibilidad de ensayar nuevos arreglos con los bloques utilizados. En este caso, para una *tum* de un condominio por estación es posible con  $n = 10$  estaciones alcanzar niveles de precisión de 25 %. A su vez, para costos fijos, por ejemplo fijados en tres días de muestreo en el mar (1440 min), es posible alcanzar una  $n_{opt} = 37$  estaciones con precisión de 27 %. La aplicación de los enfoques más elaborados ha permitido develar aspectos que difícilmente podrían ser sugeridos si se aplicaran los métodos usuales para determinar tamaño de muestra. Estos resultados son de clara utilidad práctica en el proceso de buscar, de proponer alternativas y planes de monitoreo eficientes en costo-precisión; lo que haga más factible el monitoreo de los valiosos recursos regionales.

Tabla 4. Tamaño óptimo de muestra  $n_{opt}$ , número de estaciones, cuando la abundancia sigue la Binomial Negativa en presencia de restricciones (ver sección: Muestreo óptimo II). Dos casos son considerados: a) para un índice fijo de precisión K, a varios niveles; y b) para un costo fijo, en tiempo en el mar (min, o días). La Binomial Negativa con parámetro  $k = 0.415$ . Los valores de tiempo asociados al muestreo:  $c_1 = 8$  min,  $c_2 = 22$  min,  $t_{um} = 17$  min. La media muestral de abundancia, del periodo de menor precisión observada (sept-dic),  $\xi = 7.9$  entró en los cálculos como  $m' = \xi/t_{um}$ . Un tamaño de unidad de muestreo ( $t_{um_0}$ ) de 5.2 min implicaba menos de un condominio/estación; por lo que se incluye cálculos con  $t_{um_0} = 9$  min ó 1 condominio/estación. La relación entre costos C (en min) y n es lineal: Costos =  $(c_1 + t_{um})n + c_2(n)$ .

		Precisión K fija, minimizar costos C								
		$t_{um_0} = 5.2$ min.				$t_{um_0} = 9$ min.				
K		0.1	0.25	0.30	0.5	K	0.1	0.25	0.3	0.5
$n_{opt}$		83	13	9	3	65	10	7		3
Costo (min)		3904	625	434	156	3074	492	342		123
(días)		8	1.5	1	0.5	6	1	1		0.5
		Costo C fijo, minimizar precisión K								
		$t_{um_0} = 5.2$ min.				$t_{um_0} = 9$ min.				
C (días)	(min.)	4	3	2	1	4	3	2		1
		1920	1440	960	480	1920	1440	960		480
$n_{opt}$		55	41	27	14	49	37	25		12
K		0.23	0.26	0.32	0.46	0.23	0.27	0.33		0.46

Monitoreo eficiente del reclutamiento de langosta a escala regional — A partir de los análisis anteriores, se estimaron los costos, en tiempo y dinero, que llevaría implantar un programa de monitoreo de juveniles de langosta a largo plazo en Bahía de la Ascensión. Asimismo, con los últimos análisis de optimización del muestreo, ya puede ser fijado en tres días el tiempo de muestreo. Habría que decidir si se mantiene la  $t_{um}$  actual, dos condominios por estación, o se hacen arreglos para reducirla a 1 - 1.5 condominios por estación. Otra posibilidad es cambiar el diseño del condominio. Constituye un avance el fijar en tres días la duración del muestreo, lo que permite programar costos totales en tiempo y recursos (dinero) para el monitoreo; además de establecer niveles de precisión de la estimación de abundancia entre el 25 y 27 %; que son aceptables como meta general en el campo de la ecología marina (Sissenwine et al. 1983).

A continuación se hace un análisis económico de costos totales del monitoreo regional que comprende cuatro localidades, Bahía de la Ascensión, Banco

Chinchorro, Cabo Catoche y Cayos-Contoy (Tabla 5). Las dos últimas se ubican en el norte de Quintana Roo, la primera y la segunda en las zonas central y sur, respectivamente. Estas cuatro localidades albergan las más importantes y extensas áreas de crianza de langosta en Quintana Roo. En sus áreas de pesca se lleva a cabo el grueso de la actividad pesquera del estado de Quintana Roo.

**Tabla 5.** Costos totales por año en \$ US para el monitoreo regional del recurso langosta, en particular muestreos de la abundancia de juveniles en estaciones de condominios. Se considera que en las localidades norteñas el patrón estacional del reclutamiento es igual al de Cayos-Contoy lo que demanda 9 salidas (8 datos mensuales); en las localidades central y sureña se considera el patrón de Bahía de la Ascensión con 8 salidas al año (7 datos mensuales).

Costos \$ US	Z. central/ B. de la Ascensión	Z. sur/ Banco Chinchorro	Z. norte/ Cabo Catoche	Z. norte/ Cayos- Contoy	Total
<b>Costos Fijos</b>					
Viajes a la localidad	8 x \$ 175 1,400	8 x \$ 225 1,800	9 x \$ 300 2,700	9 x \$ 350 3,150	9,050
Lancha, motor, etc. (compra o renta/viaje)	8 x \$ 400 3,200	8 x \$ 400 3,200	9 x \$ 400 3,600	9 x \$ 500 4,500	14,500
Equipo de muestreo: artes, GPS, boyas, etc. (compra única)	2,500	1,500	2,500	1,500	8,000
Salarios –personal del proyecto: 4 personas (una por localidad).	12x \$ 600 7,200	12 x \$600 7,200	12 x \$ 600 7,200	12 x \$ 600 7,200	28,800
Costos Fijos-subtotal	14,300	13,700	16,000	16,350	60,350
<b>Costos Variables</b>					
Lanchero-guia	8 x 4x \$ 75 2,400	8 x 4 x \$ 75 2,400	9 x 4x \$ 75 2,700	9 x 4 x \$ 75 2,700	10,200
Combustible	8 x \$ 250 1,000	8 x \$250 1,000	9 x \$ 250 1,250	9 x \$ 250 1,250	4,500
Estancia en campo	8 x \$ 400 3,200	8 x \$ 400 3,200	9 x \$ 400 3,600	9 x \$ 400 3,600	13,600
<b>Costos Variables Subtotal</b>	6,600	6,600	7,550	7,550	28,300
<b>Costos Totales /localidad</b>	<b>20,900</b>	<b>20,300</b>	<b>23,550</b>	<b>23,900</b>	<b>88,650</b>

Este análisis hace varias suposiciones. En primer lugar, supone que la variabilidad de la abundancia encontrada en Bahía de la Ascensión, es semejante y aplicable a las otras localidades, lo cual parece razonable - al menos para Cayos-Contoy, la única localidad que cuenta con antecedentes de abundancia relativa de juveniles (Arce et al. 1997). Supone también que en cada localidad se considera un área objetivo (universo) de muestreo de magnitud equiparable, del orden de los 500 km<sup>2</sup>. El método supone un diseño de muestreo aleatorio simple, por lo que los resultados tendrían que ser modificados para otros esquemas de muestreo, como el estratificado. Por tanto, este análisis queda como línea de base para contrastar otras posibilidades de muestreo.

Una consideración adicional de tipo práctico, es proponer el muestreo de juveniles durante un período que asegure incluir los meses pico de reclutamiento, junto con algunos meses -el inicial y el final, de la temporada "baja" en abundancia de juveniles. Para esto, es necesario suponer que en la zona norte ocurre el patrón estacional de Cayos-Contoy (Arce et al. 1997); donde la temporada de alta abundancia es de Enero a Septiembre, con picos máximos en Abril, Mayo y Junio (Arce et al. 1997). Para localidades de esta zona se proponen nueve salidas al año, de Enero a Agosto, que aportarán ocho valores mensuales de abundancia al año. En cambio, para la zona sur y central; se supone que ocurre el patrón estacional de Bahía de la Ascensión, con altas abundancias de Agosto a Diciembre, y picos máximos en Octubre-Diciembre. En estas localidades, se propone efectuar ocho salidas al año, de Junio a Diciembre, lo que aportará siete datos mensuales por año.

La Tabla 5 contiene los costos totales anualizados para cubrir las costas de Quintana Roo, con vistas a un monitoreo regional del reclutamiento de un programa de monitoreo del reclutamiento de juveniles de langosta *Panulirus argus*, que comprende las áreas de crianza asociadas a las localidades pesqueras más importantes. Sin más comentarios sobre los montos, este ejercicio de análisis de muestreo eficiente en costo-precisión, representa un elemento esencial para considerar el monitoreo regional del recurso langosta, en concordancia con su valor social, económico y ecológico en la región.

## CONCLUSIONES

El condominio resultó el arte de muestreo que dió mejores resultados, sus valores de ocupación o abundancia relativa de juveniles de langosta tendieron a ser más altas que las de minicasitas. Con este arte si fueron detectados aumentos en la temporada otoñal, caracterizada por picos máximos en Octubre - Noviembre. En cuanto a tallas este arte incide en los juveniles posalgaes, el grupo de talla objetivo en este tipo de estudios sobre reclutamiento.

La minicasita levable, del diseño probado, tuvo un comportamiento de saturación, por evidencias experimentales y observacionales. Con este arte no fue detectado el pulso otoñal de alta abundancia en 1999. En consecuencia, no se recomienda usar minicasitas levables, del tipo probado, en el monitoreo de la abundancia de juveniles. Lo positivo del efecto de saturación es que probablemente

se deba la competencia o predación dentro de las minicasitas, esto por el alto número de juveniles de peces arrecifales que las ocuparon. Por lo tanto, la minicasita levable funcionó mejor como arte de muestreo para juveniles de peces arrecifales.

A partir del comportamiento de los valores mensuales de varianzas y medias muestrales, el análisis se basó en la suposición de que la abundancia de juveniles sigue la distribución Binomial Negativa (resta efectuar pruebas de bondad de ajuste que exige datos adicionales). Por otro lado, los datos de abundancia de minicasitas y condominios en conjunto sí cumplen satisfactoriamente la ley de Taylor.

Una aproximación al muestreo óptimo, tuvo el propósito de optimizar el tamaño de muestra  $n$ , junto con el tamaño de la unidad de muestreo ( $tum$ ), cuando existen restricciones de costos. Con costo expresado en tiempo en el mar, como función lineal de  $n$ . Según el análisis, se puede reducir el  $tum$  actual, 17 min ó 2 condominios/estación, a un  $tum_o = 6$  minutos ( $< 1$  condominio/estación). Para un  $tum$  alterno de 9 min (1 condominio/estación), se obtuvo una  $n_{opt} = 10$  a una precisión fija de  $K = 25\%$ ; así como  $n_{opt} = 37$  para costo fijo en 3 días de muestreo, con precisión asociada de nivel  $K = 27\%$ . Esta última opción se consideró como razonable para trabajar en Bahía de la Ascensión en particular; y en las costas de Quintana Roo en general.

A partir de los resultados de muestreo óptimo, se hace un análisis económico de los costos totales al año de un programa regional de monitoreo de la abundancia de juveniles de langosta como índice de reclutamiento. Esto considera costos fijos y costos variables al año para cubrir cuatro localidades, Cabo Catoche, Cayos-Contoy, Bahía de la Ascensión y Banco Chinchorro, que contienen las áreas de crianza de langosta (y otros recursos arrecifales) más importantes de Quintana Roo.

#### AGRADECIMIENTOS

Los pescadores y directivos de la cooperativa "Pescadores de Vigía Chico". En especial, los Sres. Antonio Pereira, Rafael Pérez, Víctor Barrera, Aurelio Ancona, y Alfredo Sierra, entre otros, nos dieron permiso de trabajar en sus campos. En el trabajo de campo colaboraron en diversas etapas, la Biól. Surya Garza G., los buzos Omar Gómez, Marco García R. y Miguel Chicato A. (CET-Mar Chetumal). El P. Biól. Ríger Borges A. construyó las minicasitas. La Dirección de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an (DRBSK), desde su director Biól. Alfredo Arellano G., y subdirector Biól. Oscar Alvarez G., hasta los vigilantes de caseta, siempre dieron facilidades para hacer nuestro trabajo. En particular, fue valioso contar con la lancha de la DRBSK, y con el auxilio eficaz, como guía-lanchero, del Sr. Alfredo Sierra. CONABIO aportó financiamiento para estas investigaciones sobre juveniles.

## LITERATURA CITADA

- Arce, A.M., W. Aguilar-Dávila, E. Sosa-Cordero, y J.F. Caddy. 1997. Artificial shelters (casitas) as habitats for juvenile spiny lobsters (*Panulirus argus* Latreille) in the Mexican Caribbean. *Marine Ecology Progress Series* 158:217-224.
- Bakun, A., J. Beyer, D. Pauly, J.G. Pope, and G.D. Sharp. 1982. Ocean sciences in relation to living resources. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 39:1059-1070.
- Booth, J.D. 1979. Settlement of the rock lobster, *Jasus edwardsii* (Decapoda: Palinuridae), at Castlepoint, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Resources* 13:395-406.
- Briones-Fourzán, P. y D. Gutiérrez Carbonell. 1991. Variaciones en el patrón de reclutamiento de postlarvas de la langosta *Panulirus argus* en Bahía de la Ascensión, México. *Revista Investigaciones del Mar* 12:45-56.
- Caddy, J.F. 1986. Modelling stock-recruitment processes in Crustacea: some practical and theoretical perspectives. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 43:2330-2344.
- Caley, M.J., M.H. Carr, M.A. Hixon, T.P. Hughes, G.P. Jones, and B.A. Menge. 1996. Recruitment and the local dynamics of open marine populations. *Annual Review of Ecological Systems* 27:477-500.
- Caputi, N. and R.S. Brown. 1991. Prediction of catches of the western rock lobster (*Panulirus cygnus*) based on indices of puerulus and juvenile abundance. *Revistas Investigaciones Marinas (Cuba)* 12(1-3):57-65.
- Cochran, W.G. 1977. *Técnicas de Muestreo*. CECSA. México, D.F. 513 pp.
- de León, M.E., R. Cruz, E. Díaz, R. Brito, R. Puga, y J. del Castillo. 1991. Distribución y estacionalidad de juveniles de *Panulirus argus* en la plataforma cubana. *Revista Investigaciones del Mar* 12:117-130.
- Elliot, J.M. 1977. *Some Methods for the Statistical Analysis of Samples of Benthic Invertebrates*. 2<sup>nd</sup> Ed. Freshwater Biological Association, Scientific Publication No. 25. London, England. 157 pp.
- Fogarty, M.J., M.P. Sissenwine, and E.B. Cohen. 1991. Recruitment variability and the dynamics of exploited populations. *Trends in Ecological Evolution* 61:241-246.
- Herrnkind, W.F. and M.J. Butler IV. 1986. Factors regulating postlarval settlement and juvenile microhabitat use by spiny lobsters. *Marine Ecology Progress Series* 34:23-30.
- Herrnkind, W.F. and M.J. Butler, IV. 1994. Settlement of spiny lobster, *Panulirus argus* (Latreille, 1804), in Florida: pattern without predictability. *Crustaceana* 67:46-64.
- Hilborn, R. and C.J. Walters. 1992. *Quantitative Fisheries Stock Assessment. Choice, Dynamics and Uncertainty*. Chapman and Hall, New York, New York USA. 570 pp.
- Hilborn, R. and M. Mangel. 1997. *The Ecological Detective. Confronting Models with Data*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA. 315 pp.

- Hjort, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe. Rapp. P.-v. Réun. Cons. Perm. Int. Explor. Mer. 20:1-228.
- Kanciruk, P. 1980. Ecology of juvenile and adult Palinuridae (spiny lobsters). Pages 56-96 in: J.S. Cobb and B.F. Phillips (eds.). *The Biology and Management of Lobsters. Vol. 2 Ecology and Management*. Academic Press. New York, New York USA.
- Lasker, R. (ed.). 1981. *Marine Fish Larvae. Morphology, Ecology, and Relation to Fisheries*. Washington Sea Grant Program. University of Washington Press, Seattle, Washington USA. 131 pp.
- Lenarz, W.H. and P.B. Adams. 1980. Some statistical considerations of the design of trawl surveys for rockfish (Scorpaenidae). *U.S. Fisheries Bulletin* 78:659-674.
- Lipcius, R.N. and W.F. Herrmkind. 1989. Habitat use and population biology of Bahamian spiny lobster. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 39:265-278.
- Lipcius, R.N. and J.S. Cobb. 1994. Introduction: Ecology and Fisheries Biology of Spiny Lobsters. Pages 1-30 in: B.F. Phillips, J.S. Cobb, and J. Kittaka. (eds.). *Spiny Lobster Management*. Blackwell Scientific, Oxford, England.
- Lozano-Alvarez, E., P. Briones-Fourzán, and F. Negrete-Soto. 1994. An evaluation of concrete block structures as shelter for juvenile Caribbean spiny lobster *Panulirus argus*. *Bulletin of Marine Science* 55:351-362.
- Mintz, J.D., R.N. Lipcius, D.B. Eggleston, and M.S. Seebo. 1994. Survival of juvenile of Caribbean spiny lobster: effects of shelter size, geographic location and conspecific abundance. *Marine Ecology Progress Series* 112:255-266.
- Pennington, M. and J.H. Volstad. 1991. Optimum size of sampling unit for estimating the density of marine populations. *Biometrics* 47:717- 723.
- Phillips, B.F. 1972. A semi-quantitative collector of puerulus larvae of the western rock lobster *Panulirus longipes cygnus* George (Decapoda: Palinuridae). *Crustaceana* 22:174-154.
- Phillips, B.F. 1986. Prediction of commercial catches of the western rock lobster *Panulirus cygnus*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 43: 2126- 2130.
- Phillips, B.F. and A.N. Sastry. 1980. Larval Ecology. Pages 11-57 in: J.S. Cobb and B.F. Phillips (eds.). *The Biology and Management of Lobsters. Vol. 2 Ecology and Management*. Academic Press. New York, New York USA..
- Seber, G.A.F. 1982. *The Estimation of Animal Abundance and Related Parameters. 2<sup>nd</sup> Ed.* Griffin. London. 654 pp.
- Seber, G.A.F. 1986. A review of estimating animal abundance. *Biometrics* 42:267-292.
- Sissenwine, M.P. 1984. Why do fish populations vary? Pages 59-94 in: R.M. May. (ed.). *Exploitation of Marine Communities*. Dahlem Konferenzen. Springer Verlag. Berlin, Germany.

- Sissenwine, M. P., T.R. Azarovitz, and J.B. Suomala. 1983. Determining the abundance of fish. Pages 51-101 in: A.G. MacDonald and I.G. Priede.(eds.). *Experimental Biology at Sea*. Academic Press, London, England.
- Sokal, R.R. and F.J. Rohlf. 1995. *Biometry. The Principles and Practice of Statistics in Biological Research. 3<sup>rd</sup> Ed.* W.H. Freeman, New York, New York USA. 887 pp.
- Sosa-Cordero, E., A.M. Arce, W. Aguilar-Dávila, and A. Ramirez-González. 1998. Artificial shelters for spiny lobster *Panulirus argus* (Latreille): an evaluation of occupancy in different benthic habitats. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 229:1-18.
- Walters, C.J. and F. Juanes. 1993. Recruitment limitation as a consequence of natural selection for use of restricted feeding habitats and predation risk taking by juvenile fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 50:2058-2070.
- Walters, C.J., N. Hall, R. Brown, and C. Chubb. 1993. Spatial model for the population dynamics and exploitation of the Western Australian rock lobster, *Panulirus cygnus*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 50:1650-1662.
- Witham, R., R.M. Ingle, and E.A. Joyce, Jr. 1968. Physiological and ecological studies of *Panulirus argus* from the St. Lucie estuary. *Florida Board of Conservation Marine Research Laboratory Technical Series No. 53*. 31 pp.