

**Informe final\* del Proyecto L218**  
**Monitoreo de la abundancia de juveniles de langosta *Panulirus argus* como índice de reclutamiento inminente en Sian Ka'an (Reserva de la Biósfera)**

**Responsable:** M en C. Eloy Sosa Cordero

**Institución:** El Colegio de la Frontera Sur  
Unidad Chetumal  
División de Sistemas de Producción

**Dirección:** Apartado Postal 424, Chetumal, Qroo, 77000, México  
Zona Industrial # 2 Carretera Chetumal-Bacalar Km 2, Chetumal, Qroo,  
77000 , México

**Correo electrónico:** N/D

**Teléfono/Fax:** 91(983)2 0115, 91(983)2 1666 Fax: 91(983)2 0447

**Fecha de inicio:** Noviembre 14, 1997

**Fecha de término:** Agosto 15, 2000

**Principales resultados:** Informe final, Hoja de cálculo

**Forma de citar\*\* el informe final y otros resultados:** Sosa Cordero, E., 2000. Monitoreo de la abundancia de juveniles de langosta *Panulirus argus* como índice de reclutamiento inminente en Sian Ka'an (Reserva de la Biósfera). El Colegio de la Frontera Sur. Unidad Chetumal. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. L218**. México D. F.

**Forma de citar hoja de cálculo** Sosa Cordero, E., 2000. Monitoreo de la abundancia de juveniles de langosta *Panulirus argus* como índice de reclutamiento inminente en Sian Ka'an (Reserva de la Biósfera). El Colegio de la Frontera Sur. Unidad Chetumal. **Hoja de cálculo SNIB-CONABIO proyecto No. L218**. México D. F.

**Resumen:**

La fluctuación en abundancia de los efectivos (stocks) han sido tema central de la ciencia pesquera desde sus inicios como rama de la ecología. El reclutamiento o ingreso de nuevos individuos al componente explotable de la población es un proceso aditivo determinante en poblaciones sometidas a alta presión de pesca. Estimar y predecir el reclutamiento es tarea fundamental en la evaluación y manejo de recursos; el proceso de reclutamiento resulta esencial para entender la dinámica del recurso. A escala mundial las langostas espinosas o de roca (fam. Palinuridae) constituyen un valioso recurso sometido a elevada presión de pesca e impactos por alteración de hábitat. Esto se aplica a *Panulirus argus*, en todo el Caribe, y en particular en Quintana Roo, donde es el principal recurso pesquero. Las fluctuaciones poblacionales en palinúridos obedecen a factores estocásticos y regulan densodependiente (Lipcius y Cobb, 1994). Los factores estocásticos operan sobre larvas y poslarvas, estadios sujetos a la influencia de variables meteorológicas y oceanográficas. La desodependencia actúa sobre juveniles, quizá a través de "cuellos de botella" demográficos resultantes de limitaciones en hábitat refugio adecuado (Caddy, 1986). El presente proyecto propone el monitoreo del reclutamiento a partir de estimar la abundancia relativa de juveniles de langosta en Bahía de la Ascensión, en Sian Ka'an. Ahí coexiste amplias áreas de crianza y campos de pesca con singular organización especial y dominio de hábitats artificiales o "casitas" como arte de pesca. El proyecto abarca varias etapas, del diseño y prueba de un dispositivo para muestrear juveniles, práctico y eficiente inspirado en la "minicasita", al establecimiento de doce estaciones de monitoreo en la Bahía. Ambos como base para diseñar y probar un esquema de monitoreo regional eficiente en costo-precisión y poder de prueba para detectar cambios temporales en abundancia de juveniles tempranos (posalgales). Abundancia que como índice de reclutamiento inminente podrá usarse sola o junto con otros índices (puerulos) para predecir reclutamiento. Además se iniciará el monitoreo de temperatura, con registros cada 5 minutos, para caracterizar las variaciones espacio-temporales de esta variable crítica para el crecimiento y comportamiento de langosta. La combinación de dos

estaciones de anclaje para medir temperatura a profundidad de 4, 10, 20, y 35 m; así como cuatro estaciones fijas a 2, 10 y 35 m, es un arreglo útil para detectar la ocurrencia de eventos de rompimiento de ondas internas. Estos eventos pueden ser un mecanismo predecible de transporte larval hacia la costa (Pineda, 1991), ligado estrechamente al ingreso de puerulos y por ende relacionado (con retraso) con la abundancia de juveniles tempranos.

- 
- \* El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)
  - \*\* El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.



---

Monitoreo de la abundancia de juveniles de langosta  
*Panulirus argus* como índice de reclutamiento inminente  
en Sian Ka'an (Reserva de la Biosfera)

---

Informe final presentado a la CONABIO (ref. L218)

Participantes:

M. en C. Eloy Sosa Cordero (Investigador responsable)

Ocean. Angélica Ramírez González

M. en C. Ana Minerva Arce Ibarra

Biól. Gaspar Poot López

Biól. Adrián Cervantes Martínez

P.Biól. Angela Nah Chan

P.Biól. Mayra Pereira Flota

---

Línea Pesquerías Artesanales  
Departamento de Acuicultura y Pesquerías /División Sistemas de Producción  
Alternativos El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)- Unidad Chetumal.  
Chetumal, Quintana Roo, México. Mayo 25 de 2000.

*Contenido*

<b>RESUMEN</b> .....	<b>3</b>
<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>4</b>
RECLUTAMIENTO Y PREDICCIÓN DE CAPTURAS EN LANGOSTAS ESPINOSAS .....	4
LA LANGOSTA <i>PANULIRUS ARGUS</i> / JUSTIFICACIÓN DE SU ESTUDIO .....	5
LA PESQUERÍA DE LANGOSTA EN SIAN KÁ'AN/ JUSTIFICACIÓN DE SU ESTUDIO .....	5
AVANCES RECIENTES EN LA REGIÓN SOBRE EL TEMA DE JUVENILES .....	6
INFORME FINAL Y OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	7
<b>MÉTODOS</b> .....	<b>7</b>
MUESTREO DE JUVENILES .....	7
MEDICIONES DE TEMPERATURA .....	8
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b> .....	<b>9</b>
COMPARACIÓN DE CONDOMINIOS Y MINICASITAS COMO ARTES DE MUESTREO .....	9
<i>Ocupación de condominios y minicasitas por juveniles: experimento de corto plazo</i> .....	9
<i>Ocupación de condominios y minicasitas por juveniles: abundancia a mediano plazo</i> .....	10
MUESTREO EN UNA RED DE ESTACIONES, CON CONDOMINIOS Y MINICASITAS .....	11
<i>Muestreo Fase 1. Diciembre de 1998 a Marzo de 1999</i> .....	11
<i>Muestreo Fase 2. Abril-Diciembre de 1999. Monitoreo en 22 estaciones</i> .....	11
<i>Abundancia por estación de condominios y minicasitas: observaciones y modelos</i> .....	12
<i>Muestreo óptimo I. Precisión de la estimación y tamaño de muestra n</i> .....	14
<i>Muestreo óptimo II. Precisión, n y tamaño de la unidad de muestreo ante restricciones.</i> .....	16
<i>Monitoreo eficiente del reclutamiento de langosta a escala regional</i> .....	18
ABUNDANCIA DE JUVENILES DE LANGOSTA, PATRONES ESPACIO-TEMPORALES .....	19
<i>Relación de la abundancia de juveniles con la temperatura marina</i> .....	20
<i>Tallas de juveniles de langosta, por arte y variación temporal</i> .....	21
TEMPERATURA MARINA EN BAHÍA DE LA ASCENSIÓN, DOS ESTACIONES: INTERIOR Y EXTERIOR ....	21
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>21</b>
<b>NOTAS FINALES</b> .....	<b>23</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>24</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>25</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>30</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>32</b>
<b>APENDICE</b> .....	<b>36</b>

## 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, con dos estructuras por estación, y diez estaciones de minicasitas, con cuatro estructuras en cada una. 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 minicasita levable del diseño probado, presentó un efecto de saturación que le impidió detectar pulsos de abundancia estacionales. Esto la descarta como arte de 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. Para determinar tamaño óptimo de muestra  $n_{opt}$ , en número de estaciones de condominios, resultó conveniente suponer que la abundancia de juveniles sigue una distribución teórica Binomial Negativa o cumple la relación de Taylor. Los datos mensuales de abundancia, de Abril-Diciembre, tomados en conjunto condominios y minicasitas, cumplieron la relación Taylor  $\sigma^2 = a\mu^d$ , donde  $a=1.45$  y  $d= 2.393$ ; con  $n= 18$ ,  $r^2= 0.96$  ( $p < 0.001$ ). A partir de métodos de optimización que suponen que la abundancia de juveniles sigue la Binomial Negativa o cumple la relación de Taylor, se determinó una  $n_{opt}= 45$  estaciones de condominios, que permite una precisión de 25% en la estimación de la media. Se aplicó un segundo 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. El patrón estacional de la abundancia de juveniles en Bahía de la Ascensión se caracteriza por un pico otoñal, en Septiembre-Noviembre, lo que difiere con lo reportado para Cayos-Contoy, en el norte de Quintana Roo, y suroeste de Cuba. Las áreas de la bahía donde hubo mayor abundancia de juveniles fueron las externas, alrededor de los Cayos centrales (Culebras, Valencia) y en la laguna arrecifal, frente al poblado. En los dos artes de muestreo se registró alta ocupación por individuos de otros taxa; sobre todo en las minicasitas, lo que sugiere posibles interacciones de competencia y predación entre el complejo "otros taxa" y juveniles de langosta. En las minicasitas dominaron juveniles de peces de arrecife y crustáceos; en condominios, dominaron las langostas seguidas de otros crustáceos. La temperatura tuvo un marcado comportamiento estacional en la estación somera "río" en la parte interna de la bahía. Al final, se hace una revisión de los avances y logros del proyecto; además de enlistar las tareas pendientes, se comentan algunas líneas que darían seguimiento a lo reportado en este informe. 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.

## INTRODUCCION

La fluctuación de efectivos ("stocks") ha sido preocupación 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 es función simple del tamaño del efectivo progenitor. Hay quien sostiene que desde entonces ha habido poco avance significativo en el entendimiento de la variabilidad en poblaciones marinas (Sinclair, 1988). A partir de los 80s 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). Es plausible que las numerosas poblaciones marinas que poseen fases tempranas pelágicas, en realidad 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 es algún lugar corriente arriba, y a su vez los propágulos de reproductores locales abastecen a 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; ahora, siempre que se lo señale, puede referirse al reclutamiento a cierta fase, estadio o edad (Caley et al., 1996). En evaluaciones de recursos a corto plazo, es imperativo estimar el reclutamiento inminente (Shepherd, 1988). La relación efectivo-reclutas persiste aún como un problema difícil e importante en evaluación de recursos (Hilborn y Walters, 1992). Aunque la relación efectivo progenitor-reclutas a menudo parece débil (Walters y Juanes, 1993), el colapso de pesquerías se ha 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 (Shepherd, 1988).

### **Reclutamiento y predicción de capturas en langostas espinosas**

Las fluctuaciones poblacionales en langostas espinosas obedecen a varios 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). Hay progresos en la relación entre hidrodinámica costera y transporte larval; v.gr. eventos de rompimiento de ondas internas (Pineda, 1991). 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).

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

finés se han usado diversas estructuras (Herrnkind y Butler, 1994; Mintz et al., 1994; Lozano-Alvarez et al. 1994). La abundancia de juveniles de *Pleuoncodes monodon*, fam Galatheidæ, en un área de 2000 km<sup>2</sup>, se estimó por muestreo aleatorio estratificado y la técnica de área barrida con red de arrastre (Roa et al., 1995). 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.

### **La langosta *Panulirus argus*/Justificación de su estudio**

La langosta *P. argus* tiene amplia distribución en el Caribe y áreas adyacentes, de Brasil a Carolina del Norte, inclusive las islas de Antillas menores (Munro, 1974). El recurso soporta una alta presión por pesca y alteración de hábitats en esta región de rápido desarrollo urbano-turístico (Richards y Bohnsack, 1989). Esto se aplica también al caso de Quintana Roo, donde *P. argus* es el principal recurso pesquero y soporta un alto nivel de esfuerzo. En años recientes, el desarrollo costero, con la alteración de hábitats, probablemente ha afectado en cierta medida las áreas de crianza del recurso langosta.

La especie es de ciclo de vida complejo; con cinco estadios principales: adulto, huevo, larva, poslarva y juvenil (Lipcius y Cobb, 1994). 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). El presente proyecto adopta la clasificación de juveniles de Smith y Herrnkind (1992) en las tres fases siguientes:

- **Juvenil algal (5-15 mm LC).** Juveniles tempranos de coloración a bandas claras y oscuras. Pasan varias semanas en el hábitat algal y predan pequeños invertebrados. De conducta solitaria, su pigmentación y el refugio algal los protegen de los predadores.
- **Juvenil de transición (16-25 mm LC).** Unos meses después del asentamiento, los juveniles cambian a refugios diurnos: cavidades, esponjas, corales blandos, bordes de lechos de pastos marinos, etc. aún cerca de la vegetación donde forrajean de noche.
- **Juvenil postalgal (26-35 mm LC).** Meses después, al crecer, los juveniles hacen excursiones de forrajeo cada vez más lejanas. El comportamiento se torna más social y empiezan a formar agregaciones en refugios diurnos.

### **La pesquería de langosta en Sian Ka'an/ Justificación de su estudio**

El reclutamiento y abundancia de juveniles son temas relevantes en pesquerías que explotan preadultos, como en las principales pesquerías de langostas espinosas del mundo, por ejemplo Australia (Walters et al. 1993) y Cuba (Baisre y Cruz, 1994). La explotación de

preadultos, una estrategia contraproducente según la teoría de pesca, amerita análisis con nuevos enfoques. lo que quizás conlleve a cambios al paradigma reinante (Caddy, 1990).

En la pesquería de langosta *Panulirus argus* de Sian Ka'an, bahías Espíritu Santo y de la Ascensión, se explotan preadultos (Lozano Alvarez et al., 1991; Seijo, 1993; Sosa Cordero y Ramírez González, 1993a,b). Ahí domina el uso de hábitats artificiales o "casitas cubanas" como arte de pesca (buceo libre con auxilio del gancho) en un peculiar sistema de organización y estructura espacial de parcelas marinas (Miller, 1982; Seijo, 1993). Las causas principales de la pesca de preadultos son el uso de "casitas" y la cercanía de extensas áreas de crianza .

Se han efectuado varios estudios sobre la pesquería de langosta en Bahía Ascensión (BAS) (Miller, 1982; Lozano-Alvarez et al., 1991; Seijo et al., 1991; Sosa Cordero y Ramírez González, 1993a,b; Aguilar-Dávila et al., 1993). A pesar de los avances, se carece de un modelo cuantitativo para analizar las consecuencias de diferentes alternativas de manejo: cambios cuali-cuantitativos en esfuerzo, talla mínima legal y período de veda. Estimar el reclutamiento y su variación espacio-temporal favorecería la modelación de la dinámica del recurso orientada a su manejo sustentable en Sian Ka'an.

Existen datos del ingreso de puerulos en BAS de 1987 a 1996 (Briones-Fourzán y Gutiérrez-Carbonell, 1991; Briones-Fourzán, 1992) obtenidos con colectores tipo australiano (Phillips, 1972). En 3-5 años más habrán datos para ajustar un modelo de regresión entre los datos de puerulos, año t, y la captura en julio 2 años después, año t+2 (Briones-Fourzán, 1992). El índice de puerulos es predictor grueso de la captura por la complejidad de factores que operan del asentamiento al reclutamiento a la pesquería. Esto último, junto con el tiempo y recursos requeridos para generar predicciones, dificultan que esta aproximación metodológica sea adoptada en otras áreas del Caribe; además de Florida, Cuba y México. Debe enfatizarse que la validez de esta aproximación no está en duda y que contar con ella es un logro para el país. En Sian Ka'an hace falta una base de datos meteorológicos y oceanográficos (Briones-Fourzán, 1992), para determinar su influencia local y entender mejor la relación entre hidrodinámica costera y procesos de asentamiento. La temperatura influye considerablemente en el comportamiento, movimiento y actividad de los diferentes estadios y especies de langostas (Fogarty, 1988; Field y Butler, 1994; Yamakawa et al., 1994).

### **Avances recientes en la región sobre el tema de juveniles**

En 1993-1994, en investigaciones efectuadas en áreas de crianza de *P. argus* en Cayos-Contoy, costas norteñas de Quintana Roo, obtuvimos resultados sobre los aspectos siguientes:

**Cuellos de botella.** Se detectó la existencia de un "cuello de botella" dada la escasez de hábitats apropiados para juveniles posalgales. La mezcla pastos marinos-algas tuvo cobertura de 80%; mientras que la cobertura de fondos duros (corales duros, blandos y rocas) fue de apenas 0.2 % (Sosa Cordero et al., 1995; Sosa Cordero et al., 1998).

**Minicasitas.** Se probó con éxito la minicasita como hábitat artificial para juveniles. En 13 muestreos mensuales, con 20 minicasitas revisadas cada vez, fueron capturados 549 juveniles. La talla tuvo rango de 12-68 mm LC y media de 31 mm LC, pero el grueso (83%) midieron entre 20 y 35 mm LC; es decir, eran juveniles de transición y posalgales -estadios difíciles de muestrear en el medio natural (Aguilar-Dávila et al., 1995; Arce Ibarra et al., 1997).

**Monitoreo.** La minicasita fue útil para estimar abundancia de juveniles de *P. argus*, con cierto potencial para su uso en monitoreo de abundancia o reclutamiento. Sin embargo, el diseño

empleado es revisado por buceo SCUBA, que lleva demasiado tiempo y esfuerzo; por lo que resulta poco práctico plantear su uso en un programa de monitoreo a gran escala.

### **Informe final y objetivos del proyecto**

El proyecto se propuso abordar cuestiones teórico-prácticas sobre el muestreo de la abundancia de juveniles de langosta, con vistas a su empleo como índice de reclutamiento inminente, 1-1.5 años después. El reclutamiento es asunto central en discusiones de la dinámica poblacional de palinúridos. Algunos resultados son de tipo operativo, al estar relacionados con artes de muestreo y aspectos estadísticos del reclutamiento; resultan básicos para recolectar con eficiencia datos de la abundancia de pre-reclutas. Esta es la información indispensable para entender y modelar la pesquería de langosta *Panulirus argus* en Bahía de la Ascensión, R. B. Sian Ka'an. Ello entonces permitirá evaluar el estado del recurso, las medidas regulatorias vigentes, así como analizar diferentes alternativas de manejo sostenible.

A continuación se enuncia, de modo sintético, los componentes medulares de la propuesta original de trabajo y objetivos del presente proyecto; en esencia, el diseño y prueba inicial de un programa de monitoreo de la abundancia de juveniles de *P. argus*, con bases estadísticas, que comprende lo siguiente:

- Diseño y prueba del artefacto de muestreo
- Diseño y prueba de la red de estaciones en Bahía de la Ascensión
- Variación espacio-temporal de la temperatura
- Estimaciones de abundancia relativa de juveniles
- Abundancia de juveniles vs temperatura
- Propuesta de monitoreo en las seis principales áreas pesqueras de Q. Roo

En consecuencia con los objetivos del proyecto, el presente informe final contiene la información y análisis comprometidos en el convenio. Solamente en el caso de la temperatura, el anclaje a 30 m. y su análisis, quedan tareas pendientes. Para las demás cuestiones, se tocan aspectos centrales y de cada una de las actividades arriba citadas, se presenta información detallada y análisis completos.

### **METODOS**

En esta sección de métodos sólo se incluyen la descripción de las tareas más básicas relacionada con la colecta de datos de abundancia y tallas de langosta; así como las mediciones de temperatura. Dado que el proyecto trata a fondo cuestiones de muestreo, las descripciones de técnicas y modelos empleados son tratadas en detalle en las secciones respectivas.

#### **Muestreo de juveniles**

El equipo de trabajo usaba una embarcación tipo ballenera, con motor fuera de borda (40 HP). En cada estación de condominios, cada una de las dos estructuras era revisada por buceo libre, a menudo dos buceadores por condominio. Las langostas juveniles eran primero contadas y luego capturadas con ayuda de redes de cuchara manuales, de mango corto. Las langostas capturadas

eran llevados individualmente a bordo, o a veces se luego de acumular la captura en una red de mayor tamaño. Ahí se les tomaban datos de talla, longitud de cefalotórax a la 0.1 mm más cercana, y se les determinaba el sexo. Los individuos capturados eran mantenidos vivos y liberados individualmente a una distancia de 0.6 a 1 km de la estación donde fueron capturados, en hábitats de tipo similar. Esto implica el clareo de condominios en cada ocasión de muestreo. Para establecer igualdad de circunstancias, este clareo también se aplicó a los ocupantes de otros taxa. Se procuró que la manipulación y manejo de los individuos capturados fuera lo menos estresante y dañina posible. Esto no fue siempre posible con la morenas y rayas. En el caso de estaciones de minicasitas, las estructuras eran cobradas desde cubierta revisadas a ojo por la presencia de morenas o rayas, y después se les arrojaba agua para lavarlas y vaciar el contenido en cubetas. Mientras el contenido de la minicasitas era revisado en un tamiz de malla gruesa, era evaluado el estado de la minicasita y se limpiaba 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 del diagrama presentado en el apéndice (Fig. A.1). A grandes rasgos se trata de una estructura de con marco metálico, de varilla corrugada, rectangular (80 x 70 cm) sobre la que se extiende una cubierta de concreto sobre la parte superior y dos de las caras laterales, una tercera es forrada de malla metálica inoxidable—tipo criba 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 (Fig. A.1). Por otro lado, el condominio es una estructura simple formada por 16 bloques de concreto. Primero se acomodan sobre el fondo los primeros ocho bloques, en un arreglo cuadrangular, de dos bloques por lado; sobre estos se coloca un segundo juego de ocho bloques en arreglo similar —a manera de segundo piso (Fig. 2). Aquí lo crítico es el tamaño de los orificios del bloque; en este caso empleamos en 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. Por cierto este bloque es el dimensiones más parecidas al usado en Cuba.

### **Mediciones de temperatura**

La temperatura (°C) fue registrada cada 5 minutos con termógrafos submarinos, de respuesta rápida y resolución  $\pm 0.2$  °C (StowAway XTI; ONSET Computer Corp., Pocasset, MA, USA). De manera regular fueron tomados registros de temperatura en dos estaciones: a) el río, una estación de condominios situada en la parte interna de la bahía (Tabla 1), con un termógrafo colocado a una profundidad de 1.5 a 2 m; y b) en el arrecife, en un sitio situado frente a los cayos centrales (Tabla 1). En esta última estación luego de cierto tiempo (meses) fueron emplazados un par de termógrafos, uno en el fondo a 8.5-9 metros y otro a 1.5 m de profundidad; es decir, uno superficial y otro en el fondo. Por otra parte, en la bahía habían sido emplazados dos anclajes, uno a 25 y otro a 35 m con una serie de diez termógrafos en línea vertical, pero ambos anclajes fueron destruidos por la marejada del huracán Mitch (Oct, 26, 1998). Se han recuperado cuatro termógrafos de los diez; casi todos han suministrado datos, pero los cuatro quedaron dañados e inservibles.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Comparación de condominios y minicasitas como artes de muestreo

*Ocupación de condominios y minicasitas por juveniles: experimento de corto plazo.*

Una meta importante del proyecto fue comparar estructuras de tres diferentes tipos para muestrear juveniles de langosta: minicasita levable-1, minicasita levable-2 y condominio cubano (Figs. A.1, A.2, 1 y 2). Se efectuó un experimento de campo con diseño de bloques completos aleatorizados BCA (Sokal y Rohlf, 1995). Como bloques se tomaron sectores o áreas de Bahía de la Ascensión. El diseño BCA considera aleatorio al efecto de bloques -áreas, sin proponer evaluar su significancia admite que las áreas difieren en factores no controlados. Lo que incluye factores abióticos: tipo de fondo, refugio disponible, temperatura, salinidad; y factores bióticos: asentamiento de poslarvas, abundancia de predadores y presas. El factor fijo fue el tipo de estructura, cada tipo con diferente capacidad de atracción, de ahí el interés por evaluar cómo esto afecta su ocupación por juveniles. Es objetivo central del diseño evaluar la significancia del efecto del factor fijo (tratamiento) sobre la variable de respuesta: número de juveniles que ocupa cada estructura.

Bajo el diseño BCA fueron emplazadas cuatro estaciones, una en cada una de las áreas o sectores de la bahía siguientes: Río, Vigía Chico, Tres Marías y Cayo Valencia (Tablas 1 y 2). En cada estación se colocaron cuatro estructuras de tres tipos: dos minicasitas levables-1, una minicasita levable-2 y un condominio cubano. La variable de respuesta fue la captura total, número de individuos juveniles de langosta en revisiones sucesivas; esto es, la suma de capturas mensuales de julio a noviembre (Tabla 2). Usar esta variable, en vez de medias o valores mensuales, evita la controversial práctica de tomar los datos de conteos secuenciales como réplicas, mediciones repetidas independientes. Algunos autores consideran que esa extendida práctica atenta contra el supuesto de independencia de los datos.

En la tabla 2 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 al tipo de estructura, los condominios cubanos tuvieron capturas visiblemente superiores; y en cuanto a estaciones, destaca Cayo Valencia (Tabla 2).

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 de muestreo y el factor aleatorio los bloques: estación o área (Tabla 3). La captura total,  $X$ , fue antes transformada a  $(X+0.5)^{0.5}$ , recomendada para conteos o variables discretas (Elliot, 1977). Las comparaciones de medias *a posteriori* aplicaron las pruebas de Tukey-Kramer, GT2 y T' (Sokal y Rohlf, 1995). Los principales supuestos del anova fueron revisados. La normalidad de residuos con la prueba no paramétrica Kolgomorov-Smirnov y la prueba Shapiro-Wilk. Para la igualdad de varianzas intragrupal se empleó la prueba de Bartlett. Estos análisis estadísticos se efectuaron el paquete BIOM-Stat (Rohlf y Slice, 1996).

De acuerdo al anova,  $\sigma = 0.05$ , la captura de juveniles de langosta varió de manera significativa debido al tipo de estructura ( $F_s = 5.89$ ,  $p = 0.017$ ) (Tabla 3). 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 claramente superior a las capturas de cada una de las estructuras restantes, e incluso mayor que la suma

combinada de dichas capturas (Tabla 2). En respaldo a estos resultados, fueron cumplidos los principales supuestos del anova. Según la prueba Shapiro-Wilk, los residuos del anova siguieron la distribución normal ( $W = 0.944$ ,  $p = 0.3895$ ). El examen visual de residuos no reveló patrón alguno con la variable de respuesta predicha, ni la observada. Según la prueba de Bartlett, los valores de variable transformada agrupados por tipo de estructura, tuvieron varianzas homogéneas entre grupos ( $X^2 = 2.81$ ,  $p = 0.422$ ).

El experimento proporcionó bases para tomar dos decisiones prácticas de consecuencia para el proyecto. Uno, la decisión de usar simultáneamente dos artes de muestreo, minicasitas levables (Fig. 1) y condominios (Fig. 2). Dos, en vista de los niveles de ocupación o captura de cada arte registrados en el experimento, se decidió que una estación de condominios consistiera de dos condominios y una estación de minicasitas levables fuese integrada por cuatro minicasitas. El espaciamiento entre los condominios vecinos fue de 25 metros, al igual que entre las minicasitas a lo largo de una sola línea recta.

*Ocupación de condominios y minicasitas por juveniles: abundancia a mediano plazo.*

A partir de marzo de 1999, al final de la fase-1 de muestreo, y durante toda la fase-2, de Abril a Diciembre de 1999, hubo un seguimiento mensual de 22 estaciones: doce de condominios y diez de minicasitas levables (Fig. 3; Tabla 1). Algunas estaciones localizadas relativamente cerca una de otra; podrían ser llamadas pares de estaciones. En el caso de Xocen, Cayo Valencia y Cedros las estaciones pares, una de minicasitas y otra de condominios, estaban muy cercanas entre sí, con distancias de  $\sim 0.3-0.5$  km. 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 4 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 fueron registrados sólo en condominios (Fig. 4). 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 (Fig 4). Esto sería un primer indicio de un posible comportamiento de saturación de las minicasitas, sobre todo en períodos en los que ocurren pulsos estacionales de alta abundancia de juveniles.

En el par del Río y el par Colonia-Faro, estaciones de baja ocupación mensual (Fig. 4), hubo poca similitud en los patrones de abundancia relativa durante ambos períodos, primavera y otoño (Fig. 4). Así, en áreas de baja abundancia relativa, la ocupación registrada en estaciones de minicasitas fue superior a la observada en estaciones de condominios, y fueron detectados también algunos picos de abundancia relativa (Fig. 4).

Resurge aquí la sospecha de un efecto de saturación en las minicasitas levables, lo que implica que ese arte difícilmente detecta aumentos en abundancia relativa; pero ahora se tiene evidencia más directa, basada en cálculos de la razón de abundancias condominios-minicasitas procedentes de estaciones pares o vecinas. En la figura 5 (a,b); los puntos corresponden a valores de abundancia de diferentes pares de estaciones, el par identificado por la estación de minicasitas (eje Y); mientras que en el eje X se ubican los valores de las estaciones de condominios (Fig. 5 a,b). Se aprecia que en estaciones vecinas muy cercanas, los valores de

abundancia relativa no siguieron un comportamiento proporcional, por referencia a la razón  $Y/X=1$  (Fig. 5 a). Las estaciones de minicasitas no rebasaron los 25 individuos por estación; mientras que las estaciones de condominios en ocasiones alcanzaron valores de entre 40 y 80 individuos por estación (Fig. 5 a). Si en la misma figura 5 (a), ambos ejes se restringen a un valor máximo de 25 unidades (Fig. 5 b), se aprecia mejor una tendencia contrastante: a menores valores de ocupación en condominios corresponden mayores valores de minicasitas, y viceversa (Fig. 5 b). Esto puede ser interpretado del modo siguiente: a bajas densidades la minicasita opera mejor que el condominio; mientras que, a densidades altas, resulta superior el condominio. Lo aleccionador de esta observación es que difícilmente se hubiera percibido de no haber continuado con el esquema observacional aquí reportado.

Por la evidencia de un posible efecto de saturación en las minicasitas, sobre todo a alta abundancia relativa, se desprendieron dos decisiones prácticas. Uno, los datos de minicasitas levables de septiembre a diciembre de 1999, serán incluidos sólo en parte en los análisis del presente informe. Dos, las minicasitas levables del diseño aquí empleado, no son recomendables como artes de muestreo para monitoreo a largo plazo de la abundancia de juveniles de langosta; aunque como se verá más adelante, las minicasitas son ocupadas por un elevado número de peces y crustáceos. Desde luego, sería poco práctico usar minicasitas levables durante períodos de baja abundancia; y usar condominios en períodos de alta abundancia.

### **Muestreo en una red de estaciones, con condominios y minicasitas**

#### *Muestreo Fase 1. Diciembre de 1998 a Marzo de 1999.*

Esta fase representó, por un lado la continuidad del muestreo en las cuatro estaciones originales cuya función primaria fue el experimento comparativo (Tabla 2). Por otro lado, fue una etapa preparatoria de la siguiente fase (# 2). En esta fase-1, se decidió usar simultáneamente dos artes de muestreo: las minicasitas levables, con mejoras al diseño original -resultado de la experiencia (Fig. 1); y los condominios cubanos (Fig. 2). Esto significó un giro fundamental en la investigación programada al comienzo de proyecto. Esta fase-1 contribuyó al análisis descriptivo con cuatro valores mensuales de abundancia relativa: de diciembre de 1998 a marzo de 1999. Un resultado práctico de esta etapa, valioso para el proyecto fue el emplazamiento de la red de 22 estaciones en Bahía de la Ascensión (Fig. 3) para el monitoreo de la abundancia relativa de juveniles, con doce estaciones de condominios y diez de minicasitas levables, cuyas coordenadas se presentan en la tabla 1.

#### *Muestreo Fase 2. Abril-Diciembre de 1999. Monitoreo en 22 estaciones.*

Una vez emplazada la red completa de 22 estaciones en Bahía de la Ascensión (Fig. 3), pudo comenzar, en forma, el monitoreo mensual de la abundancia relativa de juveniles de langosta *Panulirus argus*. Por lo tanto, esta fase del monitoreo mensual comprendió un período total de nueve meses, de abril a diciembre de 1999. Las secciones que siguen contienen una primera serie de análisis, que trata sobre 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. Los datos generados en la fase-2 son utilizados en otros análisis de tipo descriptivo en secciones posteriores, acerca de los patrones espacio-temporales de la abundancia de juveniles de langosta registrados a lo largo del proyecto.

El muestreo siguió un diseño aleatorio simple (Cochran, 1977). No obstante que en las secciones subsiguientes se supone que las estaciones fueron emplazadas al azar; esta es más bien una hipótesis de trabajo razonable para fines del análisis. En la práctica, la elección de los sitios donde se establecieron estaciones no fue enteramente aleatoria en dos sentidos. Uno, porque estuvo presente la idea de cubrir ciertos sectores o estratos de la bahía (Fig. 3); en particular, cinco: a) Exterior de la bahía- Norte, con hábitats típicos de laguna arrecifal, va de Punta Xocen a frente de los Cayos centrales; b) Exterior de la bahía-Sur, hábitats similares al anterior, va de frente de los Cayos Centrales a Punta Pájaros; c) Cayos centrales, con hábitats bénticos de altas densidad y cobertura de macroalgas y pastos marinos, cercanos a márgenes de manglar; d) Interior de la bahía-Norte, hábitats de menores cobertura y densidad de pastos y macroalgas, cercanos a márgenes de manglar, pequeñas lagunas costeras, y presencia de fondos fangosos y rocosos; y e) Interior de la bahía-Sur, similar al anterior pero con presencia de varios cayos, canales y lagunas bordeadas de manglar. Esto dejó fuera una gran porción central de la bahía; que los pescadores tampoco consideran como área de pesca de langosta por poseer fondos sin vegetación, de fondos fangosos, con rocas dispersas, y sobre todo alta turbidez en todo el año. Dos, la ubicación de estaciones al interior de los cinco sectores, 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: evitar fondos fangosos y extensas áreas sin vegetación o "blanquizales". Otro factor que intervino fue encontrar pescadores concesionarios 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 y minicasitas: observaciones y modelos.*

El análisis de diversos aspectos del muestreo toma como variable central la abundancia relativa de juveniles de langosta *Panulirus argus*, en número de individuos por estación. 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 (Fig. 3; Tabla 1).

Usar artes de muestreo estacionarias obligó a replantear desarrollos previos de muestreo de poblaciones marinas, y a buscar alternativas diferentes de análisis. Con artes estacionarios no pasa lo que con artes de muestreo como redes de arrastre de fondo, redes de plancton, transectos o cuadrantes, en los que después de llegar a la estación se pone en acción el equipo de muestreo. El tiempo define el tamaño de la unidad de muestreo, sea porque el arrastre dura determinado tiempo; o bien, se barre un área o filtra un volumen especificado. Ocupar una estación de artes estacionarios, en cambio, es revisar trampas, redes o estructuras –condominios, que ya han operado por cierto tiempo de calado ("soak time"), y han ejercido su influencia atractora sobre un área definida. Esta última, depende del diseño (dimensiones) de cada estructura y el número de estructuras por estación. El tiempo de calado, o tiempo transcurrido desde la última revisión, no se incluye en el presente análisis porque se mantuvo relativamente constante entre ocasiones de muestreo (diferencia de pocos días). De igual modo, 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.

Al emplear índices de abundancia (IAR) o densidad relativa ( $D_r$ ) está implícita la suposición fundamental de que su valor es proporción constante de la población en realidad disponible ( $D$ ) (Link y Sauer, 1998). Suponer proporcionalidad,  $IAR = D_r = q \cdot D$ , o relación

lineal entre  $D_r$  y  $D$ , enfrenta dificultades si ocurre saturación del arte de muestreo; o bien, si los individuos reaccionan con excesiva aversión o atracción al arte de muestreo. En pesquerías se conoce bien el asunto por la larga tradición del uso de la captura por unidad de esfuerzo (cpue) como índice de abundancia poblacional (Gulland, 1983; Hilborn y Walters, 1992). Aunque existe la posibilidad del efecto de saturación en minicasitas individuales, es probable que su efecto se aminore a escala de una estación conformada por cuatro minicasitas.

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 (Taylor, 1953; Lenarz y Adams, 1980; Seber, 1982, 1986; Pennington 1985, 1996; Pennington y Volstad, 1991; McConnaughey y Conquest, 1993; Hilborn y Mangel, 1997). Por otro lado, de raigambre empírica, la relación de Taylor,  $\sigma^2 = a \cdot \mu^d$ ,  $a$  y  $d$  constantes, ha despertado atención en ecología teórica (Soberón y Loevinsohn, 1987) por su extendida presencia en poblaciones terrestres y marinas; tanto que se ha intentado hallar constantes  $a$  y  $d$  como características generales en poblaciones de diferentes taxa agrupadas por tipo de hábitat: bentos (Downing 1989) o plancton (Cyr et al., 1992). Lo anterior implica hacer ajustes a partir de grandes bases de datos publicados. La Binomial Negativa y la relación de Taylor cuentan con amplios antecedentes en la teoría y aplicaciones ecológicas, se han usado como modelos apropiados para describir la abundancia en numerosas poblaciones terrestres (Taylor et al., 1979; 1980; Seber 1982, 1986; Mangel, 1989) y marinas (Pennington y Volstad, 1991; Cyr et al., 1992; Hilborn y Mangel 1997; entre otros).

En coherencia con lo aseverado antes, en el presente trabajo la misma variable de estado, abundancia de juveniles de langosta, es representada a través de dos variables de observación, según la estación sea de: a) condominios,  $X_c$ ; o b) minicasitas,  $X_m$ . Para el caso de la Binomial Negativa (BN), lo ideal hubiera sido ajustar un modelo teórico BN ( $m$ ,  $k$ ) a cada serie mensual de valores de abundancia, número de juveniles por estación, ya sea por mínimos cuadrados o por métodos de máxima verosimilitud (Elliot, 1977; Hilborn y Mangel, 1997). En ambos se ajusta las frecuencias observadas a las esperadas según un modelo teórico de  $X$ , la abundancia por estación. No fue seguido este procedimiento porque requiere más de  $n=20$  observaciones independientes por mes; y sólo se disponía de  $n=12$  para condominios, y  $n=10$  para minicasitas por mes.

Una alternativa fue examinar la relación  $\sigma^2 - \mu$ . Los parámetros poblacionales fueron representados por sus estimadores muestrales,  $\bar{x}$  y  $s^2$  respectivamente. Con datos de cada mes fueron calculadas las estimaciones muestrales de estos parámetros; de abril a diciembre de 1999, esto hace un total nueve observaciones en estaciones de condominios,  $X_c$ , y otro tanto en estaciones minicasitas,  $X_m$  (Tabla 4). Con esos datos se construyó la serie de tiempo de la abundancia media y error estándar en este período para los dos tipos de estaciones (Fig. 6 a-c). También con estos datos se aprecia que la abundancia media en estaciones de minicasitas se comportó relativamente estable (Tabla 4; Fig. 6 a, c); mientras que la media en estaciones de condominios tuvo un pulso estacional, con pico en Septiembre-Octubre (Tabla 4; Fig. 6 a,b). La saturación en minicasitas podría ser causada por la alta ocupación de esas estructuras por individuos de otros grupos taxonómicos del bentos, tales como peces juveniles y otros crustáceos, entre otros (Fig. 6 d,e).

Se obtuvo la mediana de los 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  $k=(\bar{x})^2 / (s^2 - \bar{x})$  (Elliot 1977; Rabinovitch, 1980; Hilborn y Mangel, 1997), para minicasitas y condominios por separado (Tabla 4). Fue también calculada la mediana de las estimaciones mensuales de  $k$ , como valor representativo de cada uno de los tres períodos, ya citados (Tabla 4).

Análogamente, con base en la relación  $\sigma^2 - \mu$ , se ajustó a los datos el modelo de Taylor,  $\sigma = a \cdot \mu^d$ ; con  $a$  y  $d$  constantes. Usualmente el ajuste del modelo de Taylor se hace sobre un número elevado de observaciones, en ocasiones resultado de revisiones exhaustivas de la literatura (Downing, 1989; Cyr et al., 1992). En el presente trabajo, el ajuste del modelo de Taylor se hizo únicamente a los 18 valores de media y varianza; es decir, el conjunto de observaciones en estaciones de condominios y minicasitas de Abril a Diciembre (Tabla 4). Con  $n=18$  observaciones, la regresión resultó en la ecuación  $\ln(s^2) = 0.323 + 2.393 \ln(\bar{x})$ ; que tuvo alto coeficiente de determinación  $r^2 = 0.96$ . Para  $\alpha = 0.05$ , la regresión resultó significativa ( $F_s = 417.3$   $p < 0.001$ ). El modelo de Taylor ajustado a datos de abundancia en estaciones de condominios y minicasitas, resultó  $s^2 = 1.45 \cdot (\bar{x})^{2.393}$ ; con  $a = 1.45$  y  $d = 2.393$ . Se aplicó la corrección al intercepto al origen, que elimina el sesgo por de-transformar de log-e a escala decimal (Sprugel, 1983). La figura 7 (a,b), incluye las observaciones y las predicciones del modelo a dos escalas diferentes de medias y varianzas, lo que permite apreciar el grado de ajuste del modelo a valores bajos y elevados de medias y varianzas (Fig. 7 a, b). El ajuste de este modelo se efectuó con el paquete SISTAT para Windows.

*Muestreo óptimo I. Precisión de la estimación y tamaño de muestra  $n$ .*

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,  $CV_{\bar{x}} = \sigma / n^{0.5}(\mu)$ . Como señalan Cyr et al. (1992), no debe confundirse con el coeficiente de variación de una muestra,  $CV = s / \sqrt{x}$ , que sólo es índice de la variabilidad (dispersión) al interior de la muestra. Como es usual, en el presente informe este índice de precisión fue calculado a través del cociente  $K = s / n^{0.5}(\bar{x})$  con las estimaciones muestrales. 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 (Tabla 4; Fig. 8). En las estaciones de minicasitas, este índice se mantuvo relativamente estable en ambos períodos (Tabla 4; Fig. 8). Cabe aclarar que en las cuestiones ligadas al muestreo óptimo que se tratan a continuación, el análisis se centra en los condominios; en vista del posible efecto de saturación asociado a las minicasitas levables, del diseño usado en el presente proyecto. No obstante, en ocasiones son incluidos resultados de las minicasitas, por motivos de tipo académico.

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; Rabinovitch, 1980; Seber, 1982, 1986; Zar, 1984; Hilborn y Mangel, 1997). Existen varios métodos y aproximaciones para determinar tamaños óptimos de muestra. En el presente trabajo, y en esta sección en particular, serán aplicados varios métodos de creciente complejidad.

A propósito de la determinación del tamaño óptimo de muestra, las propuestas existentes, en alguna forma se basan casi todas en algún índice de precisión del tipo arriba citado. Algunas se aplican de manera más directa, sin referencia al tipo de distribución que sigue la variable abundancia, y suponen una distribución al azar (Rabinovitch, 1980), otras invocan el teorema central del límite y la amplitud de un intervalo de confianza (Hilborn y Mangel, 1997). Por último, las más elaboradas construyen un índice de precisión de la media en el que explícitamente intervienen los parámetros de la distribución teórica subyacente. El caso

de la abundancia como variable que sigue la Binomial Negativa ha sido tratado antes (Gerard y Berthet, 1971; Lenarz y Adams, 1980; Pennington y Volstad, 1991), al igual que el caso de la relación de Taylor (Pennington y Volstad, 1991; Cyr et al., 1992).

Una determinación simple de tamaño de muestra, aquí llamada "usual a)", supone que la abundancia relativa se distribuye al azar (Rabinovitch, 1980). Consiste en expresar de modo directo la fórmula del coeficiente de variación de la media,  $CV\bar{x}$ . Con estimaciones muestrales el índice es expresado por el cociente  $K = s / n^{0.5} (\bar{x})$ . Si se conocen  $s$  y  $\bar{x}$ , de un muestreo piloto, la literatura o estudios previos, sólo queda fijar la proporción de error tolerable  $K_d$  al estimar la media, que según los objetivos del estudio puede variar del 10% al 30%. En nuestro caso, con la media y desviación estándar muestrales de estaciones de condominios del período con menor precisión observada, septiembre a diciembre; a niveles de precisión fijados en 25 y 30%, corresponden a  $n = 46$  y  $n = 26$ , respectivamente (Tabla 5).

Otro método de uso común, llamado aquí usual b), se basa en el teorema central del límite –propio para muestras muy grandes ( $n > 100$ ) si la abundancia poblacional sigue una distribución contagiosa (McConnaughey y Conquest, 1992). En este procedimiento, se define un intervalo de confianza del  $q\%$  (90% por lo general) y un nivel tolerable  $K_d$  en la precisión o error con la que se estima la media;  $K_d$  expresado como proporción de la media (Hilborn y Mangel, 1997). La fórmula se deriva de suponer que la media se encontrará dentro de la mitad del intervalo de confianza  $q\%$ ; esto es:  $n = (t_q)^2 \cdot (s^2) / (K_d \cdot \bar{x})^2$ . Aplicada a estaciones de condominios, con estimaciones muestrales del período septiembre a diciembre, con intervalo de confianza del 90%,  $t_{90} = 1.645$ , y niveles predefinidos de 25 y 30% arroja valores necesarios de  $n = 180$  y  $n = 125$ ; respectivamente (Tabla 5).

Si la abundancia sigue una distribución Binomial Negativa, referida como  $BN(m, k)$ ; con parámetros poblacionales  $m$  y  $k$ , estimados por la media muestral  $\bar{x}$  y  $k$ , respectivamente;  $k$  por el método de momentos ya citado, ambos obtenibles de una muestra piloto. Por definición, el coeficiente de variación de la media,  $CV\bar{x} = \sigma / n^{0.5}(\mu)$ ; pero como  $\sigma^2 = \mu + (1/k) \cdot \mu^2$  en la BN; entonces,  $CV\bar{x} = [(1/\mu) + (1/k)] / n^{0.5}$ . Al sustituir  $\mu$  y  $k$  por sus estimaciones muestrales, se llega al cociente  $K = [(1/\bar{x}) + (1/k)] / n^{0.5}$ , ecuación que permite calcular valores de  $n$  para niveles predeterminados de  $K$ . Con las estimaciones muestrales de condominios del período Septiembre a Diciembre, a niveles de  $K$  fijados en 25 y 30% esta ecuación predice valores necesarios de  $n = 41$  y  $n = 28$ , respectivamente (Tabla 5).

Finalmente, si los datos de abundancia cumplen la ley de Taylor,  $\sigma^2 = a \cdot \mu^d$ ; el índice de precisión  $CV\bar{x} = \sigma / n^{0.5}(\mu)$ , queda de la forma  $CV\bar{x} = a^{0.5} \cdot \mu^{d-1} / n^{0.5}$ . Para estimadores muestrales queda como el cociente  $K = a \cdot (\bar{x})^{d-1} / n^{0.5}$ , con valores de  $a = 1.45$ ,  $d = 2.393$ . Esta ecuación, los parámetros  $a$  y  $d$ , junto con la media muestral de condominios de Abril a Septiembre, arroja los valores de tamaños de muestra  $n$  necesarios para valores fijados de  $K$ . En este caso, para  $K = 25$  y 30% se determinaron  $n = 52$  y  $n = 36$ , respectivamente (Tabla 5).

Es notable que los métodos usuales; en particular el "usual b)" o "mitad de intervalo de confianza" genere valores de  $n$  más altos que aquéllos métodos que suponen que la abundancia sigue una distribución teórica, Binomial Negativa, o cumple la relación de Taylor (Tabla 5). De acuerdo con este resultado, conviene reconocer o suponer que la abundancia de juveniles de langosta, sigue una distribución específica. En ambos casos, con la Binomial Negativa o la relación de Taylor; las determinaciones de  $n_{opt}$ , tamaño óptimo de muestreo, son factibles de cubrir con los recursos típicamente disponibles. Para una localidad como Bahía de la Ascensión, con área objetivo del orden de  $500 \text{ km}^2$ ; es factible unan del orden de 41 a 52 ( $K = 25\%$ ). Como no ha sido probado que la abundancia sigue la Binomial Negativa o la relación de Taylor; con

criterio práctico se podría emplear unan de entre 41 y 52; tal como  $n=45$  estaciones de condominios, cercano a la media aritmética de ambas (46),

Las figuras 9 (a, b) muestran los resultados generales de suponer que la abundancia, en condominios y minicasitas, sigue la distribución Binomial Negativa. Las figuras 10 (a, b) hacen lo propio, si los datos de abundancia cumplen la relación de Taylor. En ambos casos, es posible visualizar los cambios de  $K$  y  $n$ ; y permiten examinar dos cuestiones críticas: a) cómo cambia la precisión  $K$  cuando cambian  $n$  y el modelo subyacente; b) cómo se ubican los valores que fueron observados en dos períodos: a) Abril y Agosto y b) Septiembre a Diciembre, en estaciones de condominios y en estaciones de minicasitas (Figs. 9 a,b y 10 a,b). La ecuación que relaciona  $K$  y  $n$  si la abundancia sigue la Binomial Negativa fue tomada de trabajos previos (Gerard y Berthet, 1971; Lenarz y Adams, 1980). La aplicable a variables que cumplen la relación de Taylor, fue usada antes por Cyr et al., (1992). Por separado para condominios y minicasitas, se hizo el análisis de ambas situaciones: BN y Taylor. En cada caso, las ecuaciones se alimentaron con estimaciones del parámetro  $k$  (BN), media y varianzas poblacionales, dadas en la tabla 4. En particular, la construcción de los modelos (Figs. 9 a,b y 10 a,b) consideró solamente una de las medianas de las estimaciones, la del período de menor precisión observada, de entre las que corresponden a tres períodos: i) Abril a Agosto, de baja abundancia, ii) Septiembre a Diciembre, de alta abundancia, y iii) de Abril a Diciembre, el período total de estudio (Tabla 4).

#### *Muestreo óptimo II. Precisión, $n$ y tamaño de la unidad de muestreo ante restricciones.*

Los métodos examinados hasta aquí para determinar  $n_{opt}$ , tamaño óptimo de muestra  $n$ , en buena parte se han basado en consideraciones estadísticas; en el análisis previo, la única forma de incorporar consideraciones prácticas sería al fijar niveles predeterminados de  $K$ , el índice de precisión de la media estimada a partir de muestras. 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; Zar 1984; 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 informe, 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 de fondo o de plancton; con el tamaño de unidad de muestreo ( $tum$ ) definido por el tiempo en que operan un equipo de muestreo -luego de llegar a una estación de muestreo. Aquí, con artes estacionarias, ocupar una estación consiste en recuperar y revisar estructuras que han operado por un determinado tiempo de calado ("soak time") sobre el área de influencia de cada 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, como parte de este informe, fueron elaboradas extensiones a las ecuaciones de los autores citados (Tabla 6). La tabla 6 contiene las situaciones para las que Pennington y Volstad (1991) han propuesto ecuaciones que relacionan el índice de precisión  $K$ , tamaño de muestra  $n$ , tamaño de unidad de muestreo,  $tum$ , y costos; a la vez que presenta las ecuaciones desarrolladas en el presente informe.

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, encaminados 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 7). 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 7) 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 (Tabla 6) 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 8).

De este análisis más elaborado 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 8). 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 8). Extrapolado esto a un  $tum$  igual al usado,  $tum=17$  min o dos condominios/estación; entonces, sería factible cubrir  $n > 20$  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 8).

Originalmente se había planeado un análisis análogo a este, pero con base en la relación de Taylor. Desafortunadamente, el valor de la constante  $d=2.393$  cae en el intervalo en el que tanto para las ecuaciones de costo vs  $n$ , del tipo no-lineal costo- $n$  (Pennington y Volstad, 1991) como la relación lineal desarrolladas en este informe toma valores indefinidos (Tabla 6).

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 de la tabla 4, en la sección de muestreo óptimo I para un nivel de precisión  $K$ , del 25% se determinó un tamaño óptimo de muestra  $n_{opt}=45$  estaciones de condominios, tamaño de unidad de muestreo  $tum=$  dos condominios, sin restricciones de costos. Estas 45 estaciones con  $tum$  de 17 min, equivalen a un costo total de 2115 min ó 4.5 días de muestreo en el mar. Bajo restricción de costos, el análisis incorpora el  $turn$ , se sugiere reducir el  $tum$  de estaciones de condominios

( $t_{um}$  = 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  $t_{um}$  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 del país.

#### *Monitoreo eficiente del reclutamiento de langosta a escala regional.*

De los análisis anteriores, puede intentarse hacer una estimación de 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. El propósito o justificación del monitoreo de juveniles radica en que permitiría contar con un índice de reclutamiento a la pesquería, conocer con mayor detalle la dinámica del recurso (mortalidad, crecimiento y migración); así como a afinar los métodos de predicción de las capturas futuras con un año o dos de anticipación. 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 que comprende cuatro localidades, Bahía de la Ascensión, Banco Chinchorro, Cabo Catoche y Cayos-Contoy (Tabla 9). 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.

Este análisis hace varias suposiciones. En primer lugar, 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. El punto es que, en teoría, los diseños alternativos habrían de lograr disminuir  $n$  para un mismo nivel de precisión  $K$ ; o bien, aumentar  $K$  o abatir costos para una  $n$  fija determinada. Por tanto, este análisis queda como línea de base para contrastar otras posibilidades de muestreo.

Una consideración 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.

En cuanto a salarios, se considera que una institución aporte los salarios de dos investigadores y dos técnicos o asistentes. Con fondos del programa de monitoreo, entonces serían contratados un técnico por cada localidad; para formar dos equipos de cuatro personas cada uno. Un equipo que atiende dos localidades de la zona norte, Cayos-Contoy y Cabo Catoche; y un segundo equipo que atienda las dos localidades restantes, una en la zona central, Bahía de la Ascensión, y otra en la zona sur, Banco Chinchorro (Tabla 9).

La tabla 9 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.

### **Abundancia de juveniles de langosta, patrones espacio-temporales**

*Abundancia mensual de juveniles, por arte y áreas de la bahía.*

De abril a diciembre de 1999 fueron obtenidos datos de abundancia relativa en la red de  $n=22$  estaciones emplazada en Bahía Ascensión (Fig. 3; Tabla 1). Antes, hubo registros de abundancia relativa en un número menor de estaciones, de Julio a Diciembre de 1998, en las cuatro estaciones del experimento comparativo; y de Enero a Marzo de 1999 en un número creciente de estaciones. La figura 11 (a) muestra las tendencias de abundancia de juveniles, en número de individuos por estructura revisada, estos valores mensuales representan el promedio por estación, durante el período de Julio 1998 a Diciembre 1999 -por separado para estaciones de condominios y minicasitas (Fig. 11 a). En condominios, la abundancia de juveniles tuvo una marcada estacionalidad, con pico en Septiembre-Octubre de 1998, un segundo pico de menor magnitud en Enero de 1999, y de nuevo otro pico notable en Noviembre de 1999 (Fig. 11 a). En estaciones de minicasitas no fue detectado el pulso de abundancia de 1999 (Fig. 11 a).

Por lo tanto, el ciclo anual de abundancia de juveniles de langosta en Bahía de la Ascensión, se distingue una temporada de alta abundancia, de Septiembre a Diciembre, que contiene un pulso estacional notable o pico otoñal centrado en Octubre-Noviembre (Fig. 11 a). Esto difiere del patrón reportado para Cayos-Contoy, un área de crianza del norte de Quintana Roo (Arce et al., 1997), donde la temporada de alta abundancia de juveniles es más prolongada ya que se extiende de Enero a Agosto, con pico primaveral: Abril-Junio (Arce et al., 1997). En el suroeste de Cuba se reporta Julio a Septiembre como período de máxima abundancia de juveniles de langosta (de León et al., 1991). Estos desfases en la estacionalidad y su relación con la ubicación geográfica es cuestión que demanda un examen más detallado.

Al contrastar el patrón estacional de la abundancia de juveniles en estaciones de condominios, con la abundancia relativa de individuos otros grupos taxonómicos en ambas artes de muestreo (en potencia competidores o predadores de juveniles de langosta), se advierte que

el pico otoñal de abundancia de juveniles coincide con picos de abundancia del grupo "otros taxa", en número de individuos por estación, para estaciones de ambas artes (Fig. 11 a). En minicasitas, que permiten coleccionar de forma completa el conjunto de ocupantes, se encontró un número elevado de juveniles de peces y crustáceos (Fig. 11 b). De modo que esto quizás explique, al menos en parte, el efecto de saturación observado en este arte (Fig. 11 b). Para el caso de los condominios, la captura dominante fue de crustáceos. En el apéndice se muestran las tablas de composición taxonómica de la captura total en minicasitas, por estación para los meses Agosto y Mayo de 1999 (Apéndice, Tablas A.1 y A.2). Está pendiente el procesamiento de las muestras de meses restantes, así como su análisis y vaciado a las bases de datos tipo CONABIO que maneja el Museo de ECOSUR-Chetumal.

Con respecto al espacio, destacan dos puntos. Uno, por sectores de la bahía persiste el patrón estacional de la abundancia de juveniles de langosta, con dos picos: un pico mayor en Septiembre — Octubre (1998) o Noviembre (1999), otro menor en Enero (1999) (Fig. 12). Dos, las áreas de mayor abundancia son las adyacentes a los Cayos y el exterior de la bahía: Xocen, Colonia, Faro y Hualostoc (Fig. 12).

En el patrón espacial no es consistente de un año a otro, se advierte visualmente que hubo diferencias interanuales. Conviene también resaltar la gran magnitud del pico en noviembre de 1999, para condominios en el área de los Cayos (Fig. 12). Las marcadas diferencias entre condominios y minicasitas, con respecto al patrón espacio-temporal de abundancias observado de mayo a noviembre de 1999; pueden ahora explicarse por lo analizado en secciones previas; donde se encontraron evidencias de un efecto de saturación en minicasitas.

Para el período Abril a Diciembre de 1999, el análisis espacial estación por estación, por separado para condominios y minicasitas, pero con estaciones agrupadas por sectores de la bahía exhibe alta variabilidad (Fig. 13). Para el mismo arte, condominios, el pico otoñal de abundancia es mayor y más claro en estaciones ubicadas en las áreas Exterior y Cayos, que en áreas internas (Fig. 13). En cuanto a la abundancia de otros grupos: peces juveniles y crustáceos en minicasitas, crustáceos en condominios, el análisis espacial estación-por estación, por sectores de la bahía también exhibe gran variabilidad en patrones (Fig. 14). En condominios, se observan picos otoñales en los sectores Exterior y Cayos, mientras que los picos son primaverales en áreas internas (Fig. 14). En minicasitas el comportamiento de la abundancia de otros taxa es más complicado y variable, no hay un claro patrón por área (Fig. 14). Se detectaron tres picos, de los cuales pueden ocurrir de uno a tres en un mismo sector (Fig. 14). Esta parte amerita estudios adicionales, sobre todo llegar a conocer la composición taxonómica. Lo positivo es que se tiene el material coleccionado, y sólo hace falta procesarlo.

#### *Relación de la abundancia de juveniles con la temperatura marina.*

Se consideró que la estación de río es representativa de las temperaturas de aguas someras donde abundan juveniles, y donde la variabilidad en la temperatura es mayor. Fueron calculados promedios y desviaciones estándar mensuales de temperatura, ello a partir de las medias diarias para un período de 15 días antes de la fecha de muestreo de juveniles. Para algunos meses se usaron mediciones de los 15 días posteriores al muestreo; esto sólo cuando los datos de temperatura no estuvieron disponibles.

Al comparar el comportamiento estacional de la abundancia de juveniles en estaciones de condominios con respecto a la variación estacional de la temperatura promedio mensual (Fig 11 c), se aprecia que el pico estacional de abundancia de juveniles en 1999 coincidió con meses de temperatura baja (Fig. 11 c). En 1998 no hubo esa coincidencia, ya que durante el pico otoñal de abundancia de juveniles, que ocurrió entonces en Septiembre-Octubre, se registraron

temperaturas altas (Fig. 11 c). Aquí solo conviene recordar que precisamente a fines de Octubre de 1998 se presentó el huracán Gilberto que tuvo fuerte impacto en el clima regional; por lo que 1998 se trata de un año especial. Con la escasa información histórica disponible no puede hacerse una imagen coherente de estas coincidencias y variaciones entre patrones estacionales de temperatura y abundancia de juveniles.

#### *Tallas de juveniles de langosta, por arte y variación temporal.*

Con respecto a las tallas de las langostas juveniles que ocupan las estructuras, de Julio de 1998 a Diciembre de 1999 fue colectada una muestra total de tamaño  $n=1130$  (Fig. 15). Esta muestra total tiene un registro mínimo de 7.1 mm de longitud de carapacho (LC), y un máximo de 56.5 mm LC., con  $\bar{x} = 29.4$  mm LC y desviación estándar  $s=8.86$  mm LC (Fig. 15). En cuanto a tallas de captura, ambos artes no tienen diferencias apreciables ya que inciden sobre el mismo grupo de tallas con dominancia de 19 a 35-40 mm LC, que corresponde precisamente a los juveniles posalgales que son el blanco de los estudios de reclutamiento (Fig. 16)

En las distribuciones mensuales de talla de las dos artes combinadas, para todo el período de estudio (Fig. 17), se aprecia progresión modal que indica crecimiento de juveniles de langosta. En particular, se aprecian tres períodos de crecimiento: a) Noviembre a Marzo de 1998; b) Febrero a Julio de 1999; y c) Septiembre a Noviembre de 1999 (Fig. 17).

#### **Temperatura marina en Bahía de la Ascensión, dos estaciones: interior y exterior**

La información de temperatura y su análisis se ha acordado entregarla luego de obtener datos de termógrafos de anclaje a 25-30 m de profundidad programado para este año. Aquí sólo se presentan las figuras de los datos de temperatura disponibles para dos estaciones, a) Río, estación somera del área interna de la bahía; y b) Arrecife, estación en el área externa, cercana al arrecife, de 8 m de profundidad. En esta estación en ocasiones se ha colocado un termógrafo adicional a una profundidad de 2 m. Por lo que se tiene temperatura superficial y de fondo. Las figuras 18 a 24 muestran el comportamiento fino de esta variable a todo lo largo del proyecto, con registros que van desde finales de Marzo de 1998 a comienzos de Abril de 2000; es decir, casi dos años de datos de temperatura.

La información sobre los datos disponibles, con referencia a meses y estaciones; así como la relación de los nombres de los archivos EXCEL que contienen las series de datos es presentada en la tabla 10.

#### **CONCLUSIONES**

A partir de lo logrado en cada objetivo del proyecto, esta sección se propone presentar los principales resultados, los hallazgos más significativos o aportaciones del proyecto.

- 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 sí fueron detectados aumentos en la temporada otoñal, caracterizada por picos máximos en Octubre-Noviembre. En cuanto a tallas este arte incide en los juveniles posalgales, 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.

- En Bahía de la Ascensión, sobre un área objetivo del orden de 500 km<sup>2</sup>, fue establecida una red de 22 estaciones de muestreo de juveniles de langosta. Fueron emplazadas 12 estaciones de condominios y 10 de minicasitas levables. Esta red cubre los cinco sectores más importantes de la bahía como área de crianza de langosta. Las estimaciones de abundancia media en estaciones de condominios tuvieron una precisión entre el 40 y 50%. Esto para tamaño de muestra  $n=10$  estaciones de condominios y tamaño de unidad de muestra,  $tum=17$  min. (dos condominios).
- 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.
- Un primer ejercicio de optimización, con  $tum$  fijo de 17 min. (2 condominios/estación), hizo evidente la conveniencia de suponer que los datos de abundancia sigan una distribución teórica. Los métodos usuales arrojaron  $n$  más altas. Se obtuvieron valores  $n_{opt}$ , por separado según la suposición fuera que los datos sigan la Binomial Negativa o relación de Taylor. De los  $n_{opt}$  así obtenidos, se calculó el promedio ("pooled") como  $n_{opt}=45$  estaciones de condominios, que permitiría alcanzar niveles de precisión  $K$  de 25 a 27%.
- Una segunda aproximación, 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  $tumo=6$  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.
- La estacionalidad de la abundancia de juveniles en Bahía de la Ascensión, caracterizada por un período de alta abundancia de Agosto a Enero, con pico en Octubre-Noviembre; difiere de la reportada para el norte de Quintana Roo y el suroeste de Cuba, cuyos picos ocurren en Abril-Junio, y Agosto-Septiembre, respectivamente.
- El patrón espacial de la abundancia de juveniles indica que las áreas de mayor abundancia de juveniles son las externas, alrededor de los Cayos Centrales y la laguna arrecifal enfrente al poblado. Las áreas interiores fueron más pobres.

- Los índices de abundancia de otros taxa -con dominio de peces juveniles y crustáceos en minicasitas, y de crustáceos en condominios; también exhibieron patrones de variación espacio-temporales pero fueron menos claros, poco consistentes. Es importante examinar a mayor detalle esta relación. El pico máximo de abundancia de juveniles, coincide también con un pico de abundancia de ocupantes de otros taxa.
- En relación a la estacionalidad de la temperatura del fondo de un área interna, con la estacionalidad de la abundancia de juveniles de langosta, fue claro que el pico estacional de juveniles en 1999 coincidió con los primeros meses de temperatura baja; esto no ocurrió así en 1998, quizás por los cambios generados por el huracán "Mitch" (Octubre 26 de 1998).
- Se presenta una relación completa de la información de temperatura marina en dos estaciones de Bahía de la Ascensión, ya se han registrado datos finos de temperatura durante casi dos años, de Abril de 1998 a Marzo de 2000, lo que representa una amplia base de información sobre un factor de gran influencia en procesos ecológicos.

## NOTAS FINALES

Las principales tareas y objetivos del proyecto fueron cumplidos. Restan por completar la colecta de datos de temperatura en un anclaje a 25-30 m. de profundidad, y el análisis de tipo descriptivo de los datos de temperatura. La colocación de anclaje está programada para este mes de junio de 2000. Los termógrafos deberán permanecer en el mar hasta Octubre.

También está pendiente el análisis del material colectado en minicasitas. Se trata de muestras ricas en juveniles de peces arrecifales que no estábamos preparados para procesar, en la que hubo algunos avances gracias a la colaboración de académicos de la línea Necton, de ECOSUR-Chetumal, cuyo investigador responsable es el Dr. Jacobo Schmitter Soto. Estamos empeñados en conseguir recursos para contratar a un asistente que se haga cargo de procesar, catalogar y poner todo esto en bases de datos del tipo que maneja CONABIO.

Los resultados de este proyecto señalan algunos aspectos de mucho interés, entre los que destacan las bases estadísticas y de análisis económico para un eficiente monitoreo regional, o bien a escala de localidad, del reclutamiento de langosta. En este sentido, sería muy positivo que la CONABIO se interese en participar como patrocinador asociado o único de este programa.

Otra línea de investigación que parece promisoría es la del funcionamiento de los condominios, estas peculiares artes estacionarias esperan esfuerzos de investigación encaminados a entender y modelar su funcionamiento como a) arte de muestreo, y b) como medio de posibles planes de repoblamiento ("enhancement"). Esta última línea es pertinente en un recurso cuyos adultos enfrenta alta presión pesquera, y los juveniles a su vez experimentan las consecuencias de la modificación del hábitat costero, que coincide o está cercano a las áreas de crianza. En ambos casos, hay mucho por hacer.

La experiencia ganada, por los participantes en el proyecto, pone a nuestro grupo de trabajo en excelente disposición para proseguir con nuevos esfuerzos de investigación en temáticas que incorporan investigación básica sobre dinámica del reclutamiento y asuntos aplicados, de tipo pesquero (modelaje, análisis, predicción); y de conservación, como mecanismos y medios para la recuperación ("enhancement") de poblaciones sometidas a excesiva presión de pesca y ambiental.

## **AGRADECIMIENTOS**

Numerosas personas contribuyeron de modo significativo a la ejecución de este proyecto. Los pescadores y directivos de la cooperativa "Pescadores de Vigía Chico" me brindaron todo su apoyo. 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. Riger Borges A. construyó las minicasitas, muertos de termógrafos y siempre ayudó a resolver problemas. 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. Por parte del personal de CONABIO conté con las facilidades y permisos para hacer n cambios. En especial, agradezco la paciencia del área de Evaluación, Fís. Ana L. Guzmán, y M. en C. Carmen Vázquez R.; así como de las siempre amables y eficientes analistas Olga Ricalde M. y Sonia Careaga. En lo referente a la temperatura del fondo marino, diseño de la investigación y análisis preliminar sobre ondas internas, contamos con la asesoría y experimentada participación del Dr. Jesús Pineda (Woods Hole Oceanographic Institution). El Ing. Pesq. Pablo Iván Caballero P. (CET-Mar Chetumal) colaboró en la primera etapa del proyecto, al encargarse de los primeros prototipos de las minicasitas levables –incluidos los primeros bosquejos. Entre los académicos de ECOSUR que colaboraron en el proyecto destaca la M.en C. Lourdes Vázquez , el Dr. Jacobo Schmitter y la P.Biól. Erika Pimentel. El Biól. Humberto Bahena nos acompañó a varias salidas y tomó excelentes fotografías. El personal administrativo de ECOSUR, de contabilidad, almacén, cómputo y servicios generales, que siempre apoyaron al proyecto, en ocasiones de modo extraordinario. En particular, debo nombrar al C.P. Limberth Vega V., la C.P. Rosario Sosa, Sra. Ligia Serrano de Prezas y Sr. Pablo Ramos. El apoyo secretarial de Irma Reyes y Magda Hernández fue siempre excelente.

## REFERENCIAS

- 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. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 158:217-224.
- Aguilar-Dávila, W., A. Aguilar-Perera, y T. Camarena-Luhrs. 1993. Densidad de langosta *Panulirus argus* en los refugios artificiales "casitas" en Bahía de la Ascensión, Quintana Roo, México. pp. 16-26. In: J. González-Cano y R. Cruz (Eds.). *Memorias del Italler binacional México-Cuba.* SEPESCA-CIP. México, D.F.
- Aguilar-Dávila, W. E. Sosa-Cordero, y A.M. Arce. 1995. Reclutamiento de juveniles de langosta *Panulirus argus* en hábitats artificiales al norte de Quintana Roo, México. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras.* 19(1): 18-26.
- Baisre, J. and R. Cruz. 1994. The Cuban spiny lobster fishery. pp. 119-132. In: B.F. Phillips, J.S. Cobb, and J. Kittaka. (Eds.). *Spiny Lobster Management.* Blackwell Scientific. Oxford, U.K.
- Bakun, A., J. Beyer, D. Pauly, J.G. Pope, and G.D. Sharp. 1982. Ocean sciences in relation to living resources. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39: 1059-1070.
- Booth, J.D. 1979. Settlement of the rock lobster, *Jasus edwardsii* (Decapoda: Palinuridae), at Castlepoint, New Zealand. *N.Z. J. Mar. Freshwat. Res.* 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. *Rev. Invest. Mar.* 12: 45-56.
- Briones-Fourzán, P. 1992. Estado actual de los estudios sobre reclutamiento de postlarvas de la langosta *Panulirus argus* (Latreille) en el Caribe Mexicano. pp. 131-142. In: S.A. Guzmán del Proo (Ed.). *Memorias del Taller México-Australia sobre el Reclutamiento de Recursos Bentónicos de Baja California.* La Paz, B.C.S., 25-29 de Nov. 1991. SEPESCA-IPN. México, D.F.
- Caddy, J.F. 1986. Modelling stock-recruitment processes in Crustacea: some practical and theoretical perspectives. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 2330-2344.
- Caddy, J.F. 1990. Options for the regulation of Mediterranean demersal fisheries. *Nat. Res. Modelling* 4: 427-475.
- 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. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 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. *Rev. Invest. Marinas (Cuba).* 12(1-3): 57-65.
- Cochran, W.G. 1977. *Técnicas de muestreo.* CECSA. México, D.F. 513 pp.
- Cyr, H., J.A. Downing, S. Lalonde, S.B. Baines and M.L. Pace. 1992. Sampling larval fish populations: choice of sample number and size. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 121: 356-368.
- 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. *Rev. Invest. Mar.* 12: 117-130.
- Downing, J.A. 1989. Precision of the mean and the design of benthos sampling programmes: caution revised. *Mar. Biol.* 103: 231-234.

- 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. 157 pp.
- Field, J.M. and M.J. Butler, IV. 1994. The influence of temperature, salinity, and postlarval transport of juvenile spiny lobsters *Panulirus argus* (Latreille, 1804), in Florida Bay. *Crustaceana*. 67: 26-45.
- Fogarty, M.J. Time series models of the Maine lobster fishery: the effect of the temperature. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 1145-1153.
- Fogarty, M.J., M.P. Sissenwine, and E.B. Cohen. 1991. Recruitment variability and the dynamics of exploited populations. *Trends Ecol. Evol.* 61: 241-246.
- Gerard, G. and P. Berthet, 1971. Sampling strategy in censusing patchy populations. p. 59-67. In: G.Patil, E. Pielou, E. Waters. (eds.). *Spatial Patterns and Statistical Distributions*. Vol. 1. *Statistical Ecology*. Pennsylvania University Press. University Park and London.
- Gerrodette, T. 1987. A power analysis for detecting trends. *Ecology*. 68: 1364-1372.
- Gulland, J.A. 1983. *Fish stock assessment: a manual of basic methods*. Wiley. New York. 223 pp.
- Herrnkind, W.F. and M.J. Butler IV. 1986. Factors regulating postlarval settlement and juvenile microhabitat use by spiny lobsters. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 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.
- Herrnkind, W.F., P. Jernakoff, and M.J. Butler. 1994. Puerulus and post-puerulus ecology. pp. 213-229. In: B.F. Phillips, J.S. Cobb, and J. Kittaka. (Eds.). *Spiny Lobster Management*. Blackwell Scientific. Oxford, U.K.
- Hilborn, R. and C.J. Walters. 1992. *Quantitative Fisheries Stock Assessment. Choice, Dynamics and Uncertainty*. Chapman and Hall. New York. 570 pp.
- Hilborn, R. And M. Mangel. 1997. *The ecological detective. Confronting models with data*. Princeton University Press. Princeton, NJ, 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). pp. 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
- Lasker, R. (Ed.). 1981. *Marine Fish Larvae. Morphology, ecology, and relation to fisheries*. Washington Sea Grant Program. Univ. of Washington Press. Seattle, WA, USA. 131 pp.
- Leichter, J.L., S.R. Wing, S.L. Miller, M.W. Denny. 1996. Pulsed delivery of subthermocline water to Conch Reef (Florida Keys) by internal tidal bores. *Limnol. Oceanogr.* 41(7): 1490- 1501.
- Lenarz, W.H. and P.B. Adams. 1980. Some statistical considerations of the design of trawl surveys for rockfish (Scorpaenidae). *U.S. Fish. Bull.* 78: 659-674.
- Link, W.A. and J.R. Sauer. 1998. Estimating population change from count data: application to the North American Breeding Bird Survey. *Ecological Applications*. 8: 258-268.

- Lipcius, R.N. and W.F. Herrnkind. 1989. Habitat use and population biology of Bahamian spiny lobster. *Proc. Gulf Carib. Fish. Inst.* 39: 265-278.
- Lipcius, R.N. and J.S. Cobb. 1994. Introduction: Ecology and Fisheries Biology of Spiny Lobsters. pp. 1-30. In: B.F. Phillips, J.S. Cobb, and J. Kittaka. (Eds.). *Spiny Lobster Management*. Blackwell Scientific. Oxford, U.K.
- Lozano-Alvarez, E., P. Briones-Fourzán & B.F. Phillips. 1991. Fishery characteristics, growth and movements of the spiny lobster *Panulirus argus* (Latreille) in Bahia de la Ascension, Mexico. *U.S. Fish. Bull.* 89: 79-89.
- 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*. *Bull. Mar. Sci.* 55: 351-362.
- Mangel, M. 1989. Information and area-wide control in agricultural ecology. P. 81-116. In: S.A. Levin, T.G. Hallam and L.J. Gross. (eds.). *Applied Mathematical Ecology*. Springer-Verlag. Berlín.
- McConnaughey, R.A. and L.L. Conquest. 1992. Trawl survey estimation using a comparative approach based on lognormal theory. *U.S. Fish. Bull.* 91: 107-118.
- 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 conpecific abundance. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 112: 255-266.
- Miller, D.L. 1982. Mexico's Caribbean fisheries: Recent change and current issues. Ph. D. thesis. University of Wisconsin. Milwaukee, WI, USA. 251 pp.
- Munro, J.L. 1974. The biology, ecology and bionomics of Caribbean reef fisheries. Crustaceans (Spiny lobsters and crabs). *Res. Rep. Univ. Western Indies, Jamaica.* 3: 57 pp.
- Pennington, M. 1983. Efficient estimators of abundance, for fish and plankton surveys. *Biometrics.* 39: 281-286.
- Pennington, M. 1996. Estimating the mean and variance from highly skewed marine data. *U.S. Fish. Bull.* 94: 498-505.
- Pennington, M. and J.H. Volstad. 1991. Optimum size of sampling unit for estimating the density of marine populations. *Biometrics.* 47: 717- 723.
- Peterman, R.M. 1990. Statistical power analysis can improve fisheries research and management. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 2-15.
- 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*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 2126- 2130.
- Phillips, B.F. and A. N. Sastry. 1980. Larval Ecology. pp. 11-57. In: J.S. Cobb and B.F. Phillips. *The Biology and Management of Lobsters. Vol. 2 Ecology and Management*. Academic Press. New York.
- Pineda, J. 1991. Predictable upwelling and the shoreward transport of planktonic larvae by internal tidal bores. *Science.* 253: 548-551.

- Rabinovitch, J.E. 1980. Introducción a la ecología de poblaciones animales. CECSA. México, D.F. 313 PP
- Richards, W.J. and J.A. Bohnsack. 1989. The Caribbean Sea: A large marine ecosystem in crisis. pp. 44-53. In: K. Sherman, L.M. Alexander and B.D. Gold. (Eds.). Large Marine Ecosystems. Patterns, Processes and Yields, American Association for the Advancement of Science. Washington, USA.
- Roa, R., V.A. Gallardo, B. Ernst, M. Baltazar, J.I. Cañete, and S. Enríquez-Brionnes. 1995. Nursery ground, age structure and abundance of juvenile squat lobster *Pleuroncodes monodon* on the continental shelf off central Chile. Mar. Ecol. Progr. Ser. 116: 47-54.
- Rohlf, F. And D.E. Slice. 1996. BIOM-Stat for Windows. Statistical software for biologists. Version 3.2. Exeter Software, Inc. New York. 61 pp.
- 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.
- Seijo, J.C. 1993. Individual transferable grounds in a community managed artisanal fishery. Mar. Res. Econ. 8: 78-81.
- Seijo, J.C., S. Salas-Márquez, P. Arceo-Briseño, y D. Fuentes Castellanos. 1991. Análisis bioeconómico comparativo de la pesquería de langosta *Panulirus argus* de la plataforma continental de Yucatán. FAO Fish. Rep. Suppl. 431: 39-58.
- Shepherd, J.G. 1988. Fish stock assessment and their data requirements. pp. 35-62. In: J.A. Gulland (Ed.). Fish Population Dynamics. 2nd Ed. John Wiley. Chichester, U.K.
- Sinclair, M. 1988. Marine Populations. An essay on population regulation and speciation. Washington Sea Grant Program. Univ. of Washington Press. Seattle, WA, USA. 252 pp.
- Sissenwine, M.P. 1984. Why do fish populations vary? pp. 59-94. In: R.M. May. (Ed.). Exploitation of Marine Communities. Dahlem Konferenzen. Springer Verlag. Berlin.
- Sissenwine, M. P., T.R. Azarovitz, and J.B. Suomala. 1983. Determining the abundance of fish. P. 51-101. In: A.G. MacDonald and I.G. Priede.(eds.). Experimental Biology at Sea. Academic Press London.
- Smith, K. and W.F. Herrnkind. 1992. Predation on early juvenile spiny lobsters *Panulirus argus* (Latreille): influence of size and shelter. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 157: 3-18.
- Soberón M., J. and M. Loevinsohn. 1987. Patterns of variations in the numbers of animal populations and the biological foundations of Taylor's law of the mean. Oikos. 48: 249-252.
- 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. 887 pp.
- Sosa-Cordero, E. y A. Ramírez-González. 1993a. El uso de hábitats artificiales en la pesquería de langosta *Panulirus argus* de Quintana Roo, México. pp. 142-149. In: J. González-Cano y R. Cruz (Eds.). Memorias del Italler Bilateral México-Cuba. SEPESCA-CIP. México, D.F.
- Sosa-Cordero, E. y A. Ramírez-González. 1993b. Elementos para el análisis de la pesquería de langosta *Panulirus argus* con sombras de Quintana Roo, México. pp. 27-37. In: J. González-Cano y R. Cruz (Eds.). Memorias del Italler Bilateral México-Cuba. SEPESCA-CIP. México, D.F.

- Sosa-Cordero, E., A.M. Arce, W. Aguilar-Dávila y A. Ramírez-González. 1995. Introducción de hábitats artificiales en la pesquería de langosta *Panulirus argus* de Cayos-Contoy, Quintana Roo. Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras. 19(1): 18-26.
- Sosa-Cordero, E., A.M. Arce, W. Aguilar-Dávila, and A. Ramírez-González. 1998. Artificial shelters for spiny lobster *Panulirus argus* (Latreille): an evaluation of occupancy in different benthic habitats. J. Exp. Mar. Biol. and Ecol. 229: 1-18.
- Sprugel, D.G. 1983. Correcting for bias in log-transformed allometric equations. Ecology. 64: 209-210.
- Taylor, C.C. 1953. Nature of variability in trawl catches. U.S. Fish and Wildlife Service. Fishery Bulletin 54: 145-166.
- Taylor, L.R., I.P. Woiwood, and J.N. Perry. 1979. The negative binomial as a dynamic ecological model for aggregation and the density-dependence of  $k$ . Journal of Animal Ecology. 48: 289-304.
- Taylor, L.R., I.P. Woiwood, and J.N. Perry. 1980. Variance and large-scale stability of aphids, moths and birds. Journal of Animal Ecology. 49: 831-854.
- 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. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 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*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 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. Fla. Bd. Conserv. Mar. Res. Lab. Tech. Ser. 53: 31 pp.
- Yamakawa, T., Y. Matsumiya, M. Nishimura, and S. Ohnishi. 1994. Expanded De Lury's method with variable catchability and its application to catch-effort data for spiny lobster gillnet fishery. Fisheries Science. 60: 59-63.
- Zar, J.H. 1984. Biostatistical analysis. 2<sup>nd</sup> ed. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, NJ, USA. 718 pp.

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo de juveniles de langosta en Bahía de la Ascensión. Incluye datos de la posición de 22 estaciones, se indica la ubicación de las estaciones donde se colocaron termógrafos en los sitios a) Río y b) Arrecife.
- Tabla 2. 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.
- Tabla 3. 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.
- Tabla 4. Valores mensuales de estimadores muestrales: media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar ( $s$ ), coeficiente de variación de la media ( $CV\bar{x}$ ) e índice de contagio de la Binomial, estimado por el método de momentos ( $k$ ) de los respectivos parámetros poblacionales de la abundancia relativa de juveniles de langosta ( $X$ ), por tipo de estación: condominios ( $X_c$ ) o minicasitas ( $X_m$ ). Se incluyen las medianas (en *itálicas*) como descriptores de cada estimador para tres períodos: a) abril a agosto, baja abundancia; b) septiembre a diciembre, alta abundancia; y c) el período entero, abril a diciembre. Se señala (en *itálicas y negritas*) el juego de descriptores, por intervalo, con menor precisión, usado en análisis subsiguientes.
- Tabla 5. Determinación del tamaño mínimo de muestra ( $n$ ), número de estaciones de condominios por cuatro métodos diferentes (ver sección: Muestreo óptimo I). Las  $n$  se obtuvieron por cada método a niveles prefijados de precisión  $K$ . Todos los métodos se basan, de algún modo, en la relación entre el índice de precisión de la media estimada  $K$  [ $CV\bar{x} = (s/\sqrt{n})/\bar{x}$ ], tamaño de muestra ( $n$ ) y estimaciones de los parámetros poblacionales; y en su caso, de la Binomial Negativa ( $k=0.415$ ) o relación de Taylor ( $a=1.45$ ,  $d=2.393$ ). Se usaron las estimaciones muestrales de media y varianza de estaciones de condominios durante el período cuando se registró la menor precisión (septiembre-diciembre; ver tabla 4).
- Tabla 6. Ecuaciones para determinar los óptimos del tamaño de muestra  $n$ , número de estaciones de muestreo, y tamaño de la unidad de muestreo,  $tum$ . Se considera que la abundancia por estación sigue la distribución Binomial Negativa, de parámetro  $k$ , o bien cumple la relación de Taylor. Las ecuaciones para la relación lineal costos- $n$ , extienden las obtenidas por Pennington y Volstad (1991), P&V91, referidas por su número en la publicación original, que se basan en la optimización del índice de precisión  $K$ , estimador del coeficiente de variación de la media. En el presente análisis sólo cubrió el caso de la abundancia como Binomial Negativa, para una relación costos vs  $n$  de tipo lineal, sugerida por los datos. No fue posible aplicar el procedimiento análogo, si se supone que se cumple la relación de Taylor porque el coeficiente  $d$  estimado a partir de la abundancia en estaciones de condominios y minicasitas,  $d=2.393$ , está fuera del intervalo ( $1 < d < 2$ ) para el que están definidas las ecuaciones. Aquí,  $m$  es el cociente de la media muestral y el turno ( $=\bar{x}/tum$ ). Para las definiciones y estimaciones de los demás valores  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3=c_1+c_2$  se recomienda consultar la sección muestreo óptimo II.

Tabla 7. Tiempos (en min) dedicados a diferentes actividades en las campañas mensuales de monitoreo de juveniles de langosta. Se indican, el número de estaciones de cada tipo que fueron revisadas al mes. Se incluyen estaciones de dos tipos emplazadas en Bahía de la Ascensión.

Tabla 8. 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,  $tum=17$  min. La media muestral de abundancia, del período de menor precisión observada (septdic),  $\bar{x}=7.9$  entró en los cálculos como  $m'\bar{x}/tum$ . Un tamaño de unidad de muestreo ( $tum_0$ ) de 5.2 min implicaba menos de un condominio/estación; por lo que se incluye cálculos con  $tum_0=9$  min ó 1 condominio/estación. La relación entre costos C (en min) y n es lineal:  $Costos=(c_1+tum)n+c_2(n)$ .

Tabla 9. 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).

Tabla 10. Relación completa de los datos recopilados de temperatura marina, por estación de muestreo y mes en Bahía de la Ascensión; se incluye los nombres de archivos Excel.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Minicasita levable empleada en este estudio. Cuatro de estas estructuras conformaban una estación de minicasitas.
- Figura 2. Condominio cubano, estructura de 16 bloques, vista lateral. Dos de estas estructuras conformaban una estación de condominios.
- Figura 3. Area 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 #2) y diez estaciones de minicasitas (#13 a #22) .
- Figura 4. 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.
- Figura 5. Razón de las abundancias mensuales de juveniles, individuos/estación, en pares de estaciones vecinas, pero de diferentes artes: condominios vs minicasitas; durante el período Abril-Diciembre de 1999. En cada par, la abcisa es abundancia en condominios y la ordenada la abundancia en minicasitas. Como referencia se incluye la recta  $Y/X= 1$ . a) Contiene todos los valores observados en (n= 6 ) pares de estaciones; b) Sólo incluye valores observados por debajo de  $X= 25$  y  $Y= 25$ .
- Figura 6. Variación temporal de la abundancia mensual de juveniles de langosta en Bahía de la Ascensión; de Abril a Diciembre de 1999. a) Abundancia media mensual, individuos/estación, en estaciones de condominios (n= 12) y de minicasitas (n= 10); b) Abundancia de juveniles, individuos/estación ( $\bar{x} \pm$  error estándar), en estaciones de condominios; c) Abundancia de juveniles, individuos/estación ( $\bar{x} \pm$  error estándar), en estaciones de minicasitas; d) Abundancia media, individuos/estación, de juveniles de langosta y total, que incluye otros taxa y langostas, en estaciones de condominios; e) Abundancia media , individuos/estación, de juveniles de langosta y total, que incluye otros taxa y langostas, en estaciones de minicasitas. Note que el eje Y secundario (lado derecho) usado para la abundancia de otros taxa tiene diferente escala.
- Figura 7. Relación varianza-media de la abundancia mensual de juveniles de langosta, individuos/ estación, en estaciones de condominios y de minicasitas; en el período Abril a Diciembre de 1999. A la serie conjunta de valores mensuales (n=18) de condominios y minicasitas se ajustó la relación Taylor. Se obtuvo la ecuación,  $s^2= 1.45 *(\bar{x})^{2.393}$  a) valores observados y predicciones del modelo, se muestran todos los valores; b) valores observados y predicciones del modelo, se muestran sólo aquéllos valores inferiores a  $X=5$  y  $Y=50$ .
- Figura 8. 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.
- Figura 9. Relación entre el índice de precisión K, tamaño de muestra n, en número de estaciones independientes, y la abundancia media de juveniles. El índice K estima el coeficiente de variación de la media , a partir de estimaciones muestrales de varianza y

media. a) Se supone que la abundancia en estaciones de condominios sigue la Binomial Negativa, con  $k=0.415$ ; las estimaciones usadas de  $k$ ,  $\bar{x}$  y  $s^2$  son del período de menor precisión (Septiembre-Diciembre de 1999) para estaciones de condominios. Se muestran los valores observados en dos períodos: Abril-Agosto y Septiembre-Diciembre; b) Se supone que la abundancia en estaciones de minicasitas sigue la Binomial Negativa, con  $k=0.793$ . Las estimaciones usadas de  $k$ ,  $\bar{x}$  y  $s^2$  corresponden al período de menor precisión (Abril-Agosto de 1999) para estaciones de minicasitas. Se muestran los valores observados en dos períodos: Abril-Agosto y Septiembre-Diciembre.

Figura 10. Relación entre el índice de precisión  $K$ , tamaño de muestra  $n$ , en número de estaciones independientes, y la abundancia media de juveniles. El índice  $K$  estima el coeficiente de variación de la media,  $\frac{s^2}{\bar{x}^2}$ , a partir de estimaciones muestrales de varianza y media. Se supone que la abundancia de juveniles en estaciones de condominios y de minicasitas, en conjunto cumplen la relación de Taylor,  $s^2 = a(\bar{x})^d$ ; con  $a=1.45$  y  $d=2.393$ . a) Caso: condominios, se usan  $a$  y  $d$  de Taylor, y las estimaciones de  $\bar{x}$  y  $s^2$  del período de menor precisión (Septiembre-Diciembre de 1999) para estaciones de condominios. Se muestran los valores observados en dos períodos: Abril-Agosto y Septiembre-Diciembre; b) Caso: minicasitas, se usan  $a$  y  $d$  de Taylor y las estimaciones  $\bar{x}$  y  $s^2$  corresponden al período de menor precisión (Abril-Agosto de 1999) para estaciones de minicasitas. Se muestran los valores observados en dos períodos: Abril-Agosto y Septiembre-Diciembre.

Figura 11. Variación temporal de un índice de abundancia de juveniles de langosta, en individuos por estructura, valores promedio mensuales por estación en Bahía de la Ascensión, para todo el período de estudio. a) Comparación de la abundancia de juveniles, individuos por estructura en estaciones de condominios y estaciones de minicasitas; b) Comparación de las abundancias de juveniles, individuos/estructura, en estaciones de condominios respecto de la abundancia de individuos de otros taxa, individuos/ estación, en estaciones de condominios (Otc) y de minicasitas (OtmY2). Datos de Abril a Diciembre de 1999. La abundancia de otros taxa en minicasitas con valores referidos al eje Y secundario (lado derecho); c) Comparación de la abundancia de juveniles con respecto a la temperatura promedio ( $\pm$  desviación estándar) registrada en la estación somera "río" (interior de la bahía). Los promedios calculados sobre las medias diarias de ( $n=15$ ) días previos a la fecha de muestreo de juveniles.

Figura 12. Abundancia de juveniles, individuos/estructura, promedios mensuales por estación de condominios en todo el período de estudio para cuatro sectores de Bahía de la Ascensión: Interior Norte (Int-N), Interior-Sur (Int-S), Cayos centrales (Cayos), y Exterior (Exter).

Figura 13. Abundancia de juveniles de langosta, individuos/estación, promedios mensuales por estación de condominios (gráficas del lado izquierdo) y en estaciones de minicasitas (lado derecho). Los datos por estación agrupados por sectores de Bahía de la Ascensión. Note que las escalas del eje de ordenadas son diferentes entre artes, y entre sectores de la bahía.

Figura 14. Abundancia de individuos de otros taxa, individuos/estación, promedios mensuales por estación de condominios (gráficas del lado izquierdo) y en estaciones de minicasitas (lado derecho). Los datos por estación agrupados por sectores de Bahía de la Ascensión. Note que las escalas del eje de ordenadas son diferentes entre artes, y entre sectores de

la bahía. Otros taxa dominantes en minicasitas fueron peces de arrecife y otros crustáceos; en estaciones de condominios dominaron otros crustáceos.

Figura 15. Distribución de frecuencias de talla, longitud de carapacho (LC) en mm, de juveniles de langosta encontrados en condominios y minicasitas durante todo el período de estudio. La muestra total,  $n= 1129$ ; el histograma emplea intervalos de clase con amplitud de 2 mm.

Figura 16. Comparación de las distribuciones de talla, longitud de carapacho (LC) en mm, de juveniles de langosta encontrados en estaciones de condominios vs estaciones de minicasitas durante todo el período de estudio.

Figura 17. Distribuciones mensuales de talla, longitud de carapacho (LC) en mm, de juveniles de langosta encontrados en condominios y minicasitas, a lo largo del período de estudio. Los datos de estaciones de ambos tipos están mezclados.

Figura 18. Registros de temperatura del fondo marino, ° C, en la estación interna y somera "río" ( $19^{\circ} 48'19''N$  ,  $87^{\circ} 29'42''O$ ) en cuatro intervalos que comprenden del 24 de Abril de 1998 al 9 de Abril de 1999. A los registros de cada 5 min, se les aplicó un filtro de promedios móviles de cada 72 lecturas.

Figura 19. Registros de temperatura del fondo marino, ° C, en estación interna y somera "río" ( $19^{\circ} 48'19''N$  ,  $87^{\circ} 29'42''O$ ) en cuatro intervalos que comprenden del 16 de Abril a 24 de Noviembre de 1999. A los registros de cada 5 min, se les aplicó un filtro de promedios móviles de cada 72 lecturas.

Figura 20. Registros de temperatura del fondo marino, ° C, en estación interna y somera "río" ( $19^{\circ} 48'19''N$  ,  $87^{\circ} 29'42''O$ ) en un intervalo del 27 de Noviembre de 1999 al 4 de Marzo de 2000. A los registros cada 5 min, se les aplicó un filtro de promedios móviles de cada 72 lecturas.

Figura 21. Registros de temperatura marina, ° C, en la estación exterior "anclaje a 35 m" frente a Bahía de la Ascensión ( $19^{\circ} 42' 27'' N$  ,  $87^{\circ} 23' 46'' O$ ) en un intervalo del 27 de Agosto a 26 de Octubre de 1998. Se muestran las mediciones a profundidades de 8, 20, 26 y 32 m. A los registros de cada 5 min, se les aplicó un filtro de promedios móviles de cada 72 lecturas.

Figura 22. Registros de temperatura marina, ° C, en la estación exterior "anclaje a 35 m" frente a Bahía de la Ascensión ( $19^{\circ} 42' 27'' N$  ,  $87^{\circ} 23' 46'' O$ ) en un intervalo del 27 de Agosto a 25 de Septiembre de 1998. Se muestran las mediciones a profundidad de 14 m. A los registros de cada 5 min, se les aplicó un filtro de promedios móviles de cada 72 lecturas.

Figura 23. Registros de temperatura del fondo marino, ° C, en la estación exterior "arrecife" ( $19^{\circ} 42' 22''N$  ,  $87^{\circ} 24' 39'' O$ ) en cuatro intervalos que comprenden del 25 de Julio de 1998 al 13 de Abril de 1999. Se muestran las mediciones a profundidades de 2 y 9 m. A los registros de cada 5 min, se les aplicó un filtro de promedios móviles de cada 72 lecturas.

Figura 24. Registros de temperatura del fondo marino, ° C, en la estación exterior "arrecife" ( $19^{\circ} 42' 22''N$  ,  $87^{\circ} 24' 39'' O$ ) en cuatro intervalos que comprenden del 16 de Abril de

1999 al 4 de Marzo de 2000. Se muestran las mediciones a profundidades de 2 y 9 m. A los registros de cada 5 min, se les aplicó un filtro de promedios móviles de cada 72 lecturas.

## **APENDICE**

### **/ Lista de Tablas**

Tabla A.1. Abundancia, en número de individuos, de juveniles de peces, crustáceos y otros taxa encontrados en estaciones de minicasitas, en diferentes áreas de Bahía de la Ascensión. 05-99.

Tabla A.2 Abundancia, en número de individuos, de juveniles de peces, crustáceos y otros taxa encontrados en estaciones de minicasitas, en diferentes áreas de Bahía de la Ascensión. 08-99.

### **/ Lista de Figuras**

Figura A.1 Minicasita levable tipo-2, usada en el monitoreo de Abril a Diciembre de 1999.

Fig. A.2 Minicasita levable tipo-1, usada solamente en el experimento comparativo.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo de juveniles de langosta en Bahía de la Ascensión. Incluye datos de la posición de 22 estaciones, se indica la ubicación de las estaciones donde se colocaron termógrafos en los sitios a) Río y b) Arrecife.

Estación (área de la bahía)	Coordenadas		Observaciones
Río, c/termógrafos	19°48' 19" N	87°29' 42" O	Condominios. Campo de Víctor Barrera.
Vigía Chico	19° 47' 31" N	87° 33' 53" O	Condominios. Campo de Víctor Barrera.
Tres Marías	19°36' 07" N	87°33' 44" O	Condominios. Campo de Alfredo Sierra.
CayoValencia	19°41' 32" N	87°27' 06" O	Condominios. Campo de Antonio Pereira.
Colonia (frente a la)	19° 48' 14" N	87° 28' 22" O	Condominios. Campo de Antonio Pereira.
Punta Hualostoc	19° 39' 00" N	87° 26' 47" O	Condominios. Campo de Aurelio Ancona.
Vigía Grande	19° 42' 02" N	87° 37' 39" O	Condominios. Campo de Aurelio Ancona.
Cayo Culebras	19° 42' 38" N	87° 28' 54" O	Condominios. Campo de Rafael Pérez.
Cayo Cedros	19° 37' 54" N	87° 31' 03" O	Condominios.
Playón	19° 49' 17" N	87° 29' 23" O	Condominios.
Punta Gorda	19° 47' 31" N	87° 31' 12" O	Condominios.
Xocen	19° 49' 04" N	87° 27' 25" O	Condominios.
Río	19° 46' 48" N	87° 29' 58" O	Clave MMC 1; Cmrio. Minicasitas.
Pinocho	19° 46' 37" N	87° 31' 59" O	Clave MMC2; Cmpin. Minicasitas.
Canal	19° 43' 26" N	87° 28' 08" O	Clave MMC3; cmcanal.Minicasitas
Cayo Valencia	19° 41' 33" N	87° 26' 50" O	Clave MMC4; cmvalencia. Minicasitas.
S-Culebras	19° 41' 25" N	87° 30' 36" O	Clave MMC5; cmsculebras. Minicasitas.
Cayo Cedro	19° 37' 46" N	87° 32' 11" O	Clave MMC6; cmi edro.Minicasitas.
Entrada Río Temporal	19° 37' 39" N	87° 28' 22" O	Clave MMC7; cme tempo.Minicasitas.
Río Temporal	19° 36' 41" N	87° 26' 34" O	Clave MMC8; cm tempo.Minicasitas.
Xocen	19° 49' 09" N	87° 27' 21" O	Clave MMC9; cm Xocen. Minicasitas.
Faro (frente al)	19° 47' 39" N	87° 26' 57" O	Clave: MMC 10; cmfaro. Minicasitas.
Estación Arrecife -termógrafos a 2 y 8m.	19° 42' 22" N	87° 24' 39" O	

Tabla 2. 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> <i>a</i>	<i>Minicasita levable-2</i> <i>b</i>	<i>Condominio cubano</i>	
<b>Río 1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	
<b>Vigía Chico</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>
<b>Tres Marías</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>35</b>
<b>CayoValencia</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>16</b>	<b>35</b>

Tabla 3. 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 I.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F <sub>s</sub>	P
Tipo de estructura (Factor fijo)	3	19.1634	6.3878	5.885 <sup>b</sup>	0.0166*
Area o Estación (Bloque)	3	16.2032	5.4011	4.976 <sup>c</sup>	0.0264*
Estructura x área (Interacción)	9	9.7686	1.0854		

**Notas:** a) sin repeticiones; b)  $F_s \text{ CM}_E / \text{CM}_{\text{EXA}} = 6.3878 / 1.0854$  sin suponer interacción nula o no-significativa; c)  $F_s \text{ CM}_A / \text{CM}_{\text{EXA}} = 5.4011 / 1.0854$ , requiere que la interacción sea no-significativa.

Tabla 4. Valores mensuales de estimadores muestrales: media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar (s), coeficiente de variación de la media ( $CV_{\bar{x}}$ ) e índice de contagio de la Binomial, estimado por el método de momentos (k) de los respectivos parámetros poblacionales de la abundancia relativa de juveniles de langosta (X), por tipo de estación: condominios (Xc) o minicasitas (Xm). Se incluyen las medianas (en itálicas) como descriptores de cada estimador para tres períodos: a) abril a agosto, baja abundancia; b) septiembre a diciembre, alta abundancia; y c) el período entero, abril a diciembre. Se señala (en itálicas y negritas) el juego de descriptores, por intervalo, con menor precisión, usado en análisis subsiguientes.

Condominios, Xc (n= 12*)					Minicasitas, Xm (n= 10)				
Meses	$\bar{x}$	s	$CV_{\bar{x}}$	k	$\bar{x}$	s	$CV_{\bar{x}}$	k	
Abril	2.58	4.420	0.495	0.393	1.7	2.31	0.430	0.793	
Mayo	1.75	2.006	0.331	1.347	2.8	4.341	0.490	0.489	
Junio	2.42	3.118	0.372	0.802	1.9	2.470	0.411	0.859	
Julio	2.92	3.579	0.354	0.862	4.2	4.367	0.329	1.186	
Agosto	2.5	3.398	0.392	0.691	3.6	6.346	0.557	0.353	
<i>Abr-Ago</i>	<i>2.5</i>	<i>3.398</i>	<i>0.392</i>	<i>0.802</i>	<b>2.8</b>	<b>4.341</b>	<b>0.490</b>	<b>0.793</b>	
Sept	6.58	10.535	0.462	0.415	2.3	3.561	0.490	0.510	
Octubre	8.8	18.978	0.682	0.220	2.5	3.064	0.388	0.907	
Nov	14.92	29.066	0.562	0.268	1.1	1.449	0.417	1.21	
Dic	7.0	13.206	0.569	0.293	2.2	3.327	0.478	0.546	
<i>Sept-Dic</i>	<b>7.9</b>	<b>16.092</b>	<b>0.588</b>	<b>0.280</b>	2.25	3.195	0.449	0.726	
<i>Abr-Dic</i>	2.92	4.420	0.437	0.415	2.3	3.327	0.4574	0.793	

**Nota:** \*Con dos excepciones, en Octubre (n= 10), y en Diciembre (n= 11).

Tabla 5. Determinación del tamaño mínimo de muestra (n), número de estaciones de condominios por cuatro métodos diferentes (ver sección: Muestreo óptimo I ). Las n se obtuvieron por cada método a niveles prefijados de precisión K. Todos los métodos se basan, de algún modo, en la relación entre el índice de precisión de la media estimada  $K [ CV\bar{x} = (s/\sqrt{n})/\bar{x} ]$ , tamaño de muestra (n) y estimaciones de los parámetros poblacionales; y en su caso, de la Binomial Negativa (k= 0.415) o relación de Taylor (a= 1.45, d= 2.393). Se usaron las estimaciones muestrales de media y varianza de estaciones de condominios durante el período cuando se registró la menor precisión (septiembre-diciembre; ver tabla 4).

<b>Métodos</b>	<b>K</b>	<b>0.1</b>	<b>0.25</b>	<b>0.3</b>	<b>0.5</b>
	<b>Niveles</b>				
Usual a)		415	66	46	17
Usual b)		1123	180	125	45
Bin. Negativa		254	41	28	10
Taylor		327	52	36	13

Tabla 6. Ecuaciones para determinar los óptimos del tamaño de muestra n, número de estaciones de muestreo, y tamaño de la unidad de muestreo, *tum*. Se considera que la abundancia por estación sigue la distribución Binomial Negativa, de parámetro k, o bien cumple la relación de Taylor. Las ecuaciones para la relación lineal costos-n, extienden las obtenidas por Pennington y Volstad (1991), P&V91, referidas por su número en la publicación original, que se basan en la optimización del índice de precisión K, estimador del coeficiente de variación de la media. En el presente análisis sólo cubrió el caso de la abundancia como Binomial Negativa, para una relación costos vs n de tipo lineal, sugerida por los datos. No fue posible aplicar el procedimiento análogo, si se supone que se cumple la relación de Taylor porque el coeficiente d estimado a partir de la abundancia en estaciones de condominios y minicasitas, d= 2.393, está fuera del intervalo (1 < d < 2) para el que están definidas las ecuaciones. Aquí, m es el cociente de la media muestral y el *tum* ( $= \bar{x} / tum$ ). Para las definiciones y estimaciones de los demás valores  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3 = c_1 + c_2$  se recomienda consultar la sección de muestreo óptimo II.

	Binomial Negativa		Taylor	
Relación $\sigma^2 - \mu$	$\sigma^2 = \mu + (1/k) \mu^2$		$\sigma^2 = a \cdot \mu^d$	
Relación entre tiempo de viaje entre estaciones y costo	No-lineal	Lineal	No-lineal	Lineal
<b>COSTO FIJO, C CONSTANTE;</b>				
MINIMIZAR $K = CV_X = CV / \sqrt{n}$				
$n_{opt}$	ec. 7. P&V	$C / [(k \cdot c_3 / m)^{0.5} + c_3]$	ec. 7. P&V	$C / [c_3(d-2)/(1-d) + c_3]$
$S_{opt}$	$\{(c_1 + c_2 / \sqrt{n}) / m/k\}^{0.5}$ iterativamente con ec. 7	$(k \cdot c_3 / m)^{0.5}$	$[(2-d) / (1-d)] \cdot [c_1 + c_2 / \sqrt{n}]$ iterativamente con ec.7	$c_3 (d-2) / (1-d)$
<b>PRECISIÓN FIJA, K CONSTANTE = <math>CV_X = CV / \sqrt{n}</math> ;</b>				
MINIMIZAR COSTO C				
$n_{opt}$	$[1 / (m \cdot tum + 1/k)] / K^2$ ec. 10. P&V	$1 / [K^2 m (k \cdot c_3 / m)^{0.5} + 1/k \cdot (K^2)]$ -----		$am^{b-2} / K^2 [c_3 (d-2)/(1-d)]^{d-2}$
$S_{opt}$	$c_2 K^2 [2 [(m/k)tum^2 - c_1] [1 / (m \cdot tum + 1/k)]^{0.5} (k \cdot c_3 / m)^{0.5}]$ iterativamente con ec. 10		----	$c_3 (d-2) / (1-d)$

Tabla 7. 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.

<b>Mes</b>	<b>n</b>	<b>Tiempo/ estación minicasitas</b>	<b>n</b>	<b>Tiempo/ estación condominios</b>	<b>Tiempo de viaje</b>	<b>Tiempo total</b>
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

Tabla 8. 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,  $tum=17$  min. La media muestral de abundancia, del período de menor precisión observada (sept-dic),  $\bar{x}=7.9$  entró en los cálculos como  $m'=\bar{x}/tum$ . Un tamaño de unidad de muestreo ( $tum_o$ ) de 5.2 min implicaba menos de un condominio/estación; por lo que se incluye cálculos con  $tum_o=9$  min ó 1 condominio/estación. La relación entre costos C (en min) y n es lineal:  $Costos=(c_1+tum)n + c_2(n)$ .

**Precisión K fija, minimizar costos C**

	$tum_o=5.2$				min.	$tum_o=9$ 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**

	$tum_o=5.2$				min.	$tum_o=9$ min.			
C (días)	4	3	2	1	C (días)	4	3	2	1
(min.)	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

Tabla 9. 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- Convoy	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 rentalviaje)	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: artef, 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
<b>Costos Fijos-subtotal</b>	<b>14,300</b>	<b>13,700</b>	<b>16,000</b>	<b>16,350</b>	<b>60,350</b>
<b>Costos Variables</b>					
Lanchero-guía	8 x 4 x \$ 75 2,400	8 x 4 x \$ 75 2,400	9x4x \$75 2,700	9 x 4 x \$ 75 2,700	10,200
Combustible	8 x \$ 250 1,000	8x\$250 1,000	9x\$250 1,250	9x\$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>	<b>6,600</b>	<b>6,600</b>	<b>7,550</b>	<b>7,550</b>	<b>28,300</b>
<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>

Tabla 10. Relación completa de los datos recopilados de temperatura marina, por estación de muestreo y mes en Bahía de la Ascensión; se incluye nombres de archivos Excel.

FECHAS	RIO	ARRECIFE (Barco)	ANCLAJE
ABR - MAY 98	rio0598.xls 24/04/98-14/05/98		
JUN - JUL 98	rio0798.xls 27/06/98-23/07/98		
JUL - AGO98		b8m0898.xls 25/07/98-26/08/98	
AGO - SEP 98	rio0998.xls 27/08/98-27/09/98	b8m0998.xls (8m) 27/08/98-29/09/98	STA 14m98.xls 27/08/98-25/09/98
AGO - OCT 98			STA20m98.xls (20m) STA26m98.xls (26m) STA32m98.xls (32m) 27/08/98-26/10/98
OCT - NOV 98	rio1098.xls 01/10/98-30/10/98	b8m1098.xls (8m) 01/10/98-20/11/98	
NOV - DIC 98	rio1198.xls 20/11/98-08/12/98		
DIC 98 - ENE 99	rio0199.xls 10/12/98-07/01/99	ba2m0199.xls 20/11/98-20/01/99 b8m0199.xls 11/12/98-20/01/99	
FEB - MAR 99	Se perdieron los datos por descarga de la batería del termógrafo	b2m0299.xls 31/01/99-09/03/99 b9m0299.xls 31/01/99-09/03/99	
MAR - ABR 99	rio0399.xls 10/03/99-09/04/99	b2m0399.xls 10/03/99-13/04/99 b9m0399.xls 10/03/99-13/04/99	
ABR - JUN 99	r04-0699.xls 16/04/99-17/16/99	b2m0699.xls 16/04/99-17/06/99 b9m0699.xls 16/04/99-17/06/99	
JUN - JUL 99	rio0799.xls 22/06/99-22/07/99	b2m0799.xls 27/06/99-22/07/99 b9m0799.xls 27/06/99-22/07/99	
AGO - SEP 99	rio0999.xls 27/08/99 - 30/09/99		
AGO - NOV 99		b2m1199.xls 27/08/99-24/11/99 b9m1199.xls 27/08/99-24/11/99	
OCT-NOV 99	rio1199.xls 29/10/99-24/11/99		
NOV 99 - MAR 00	rio0300.xls 27/11/99-04/03/00	b2m0300.xls 27/11/99-04/03/00 b9m0300.xls 27/11/99-04/03/00	



Figura 1.



Figura 2.

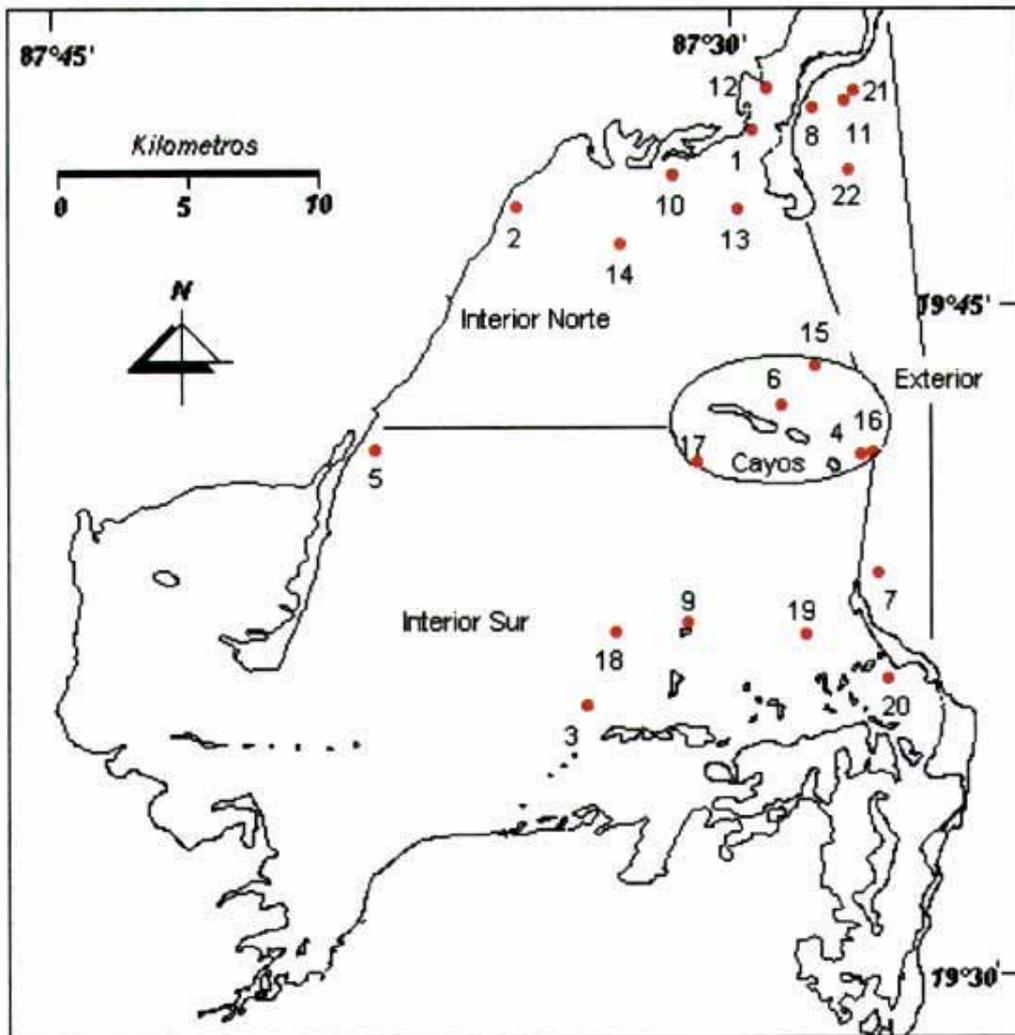


Figura 3.

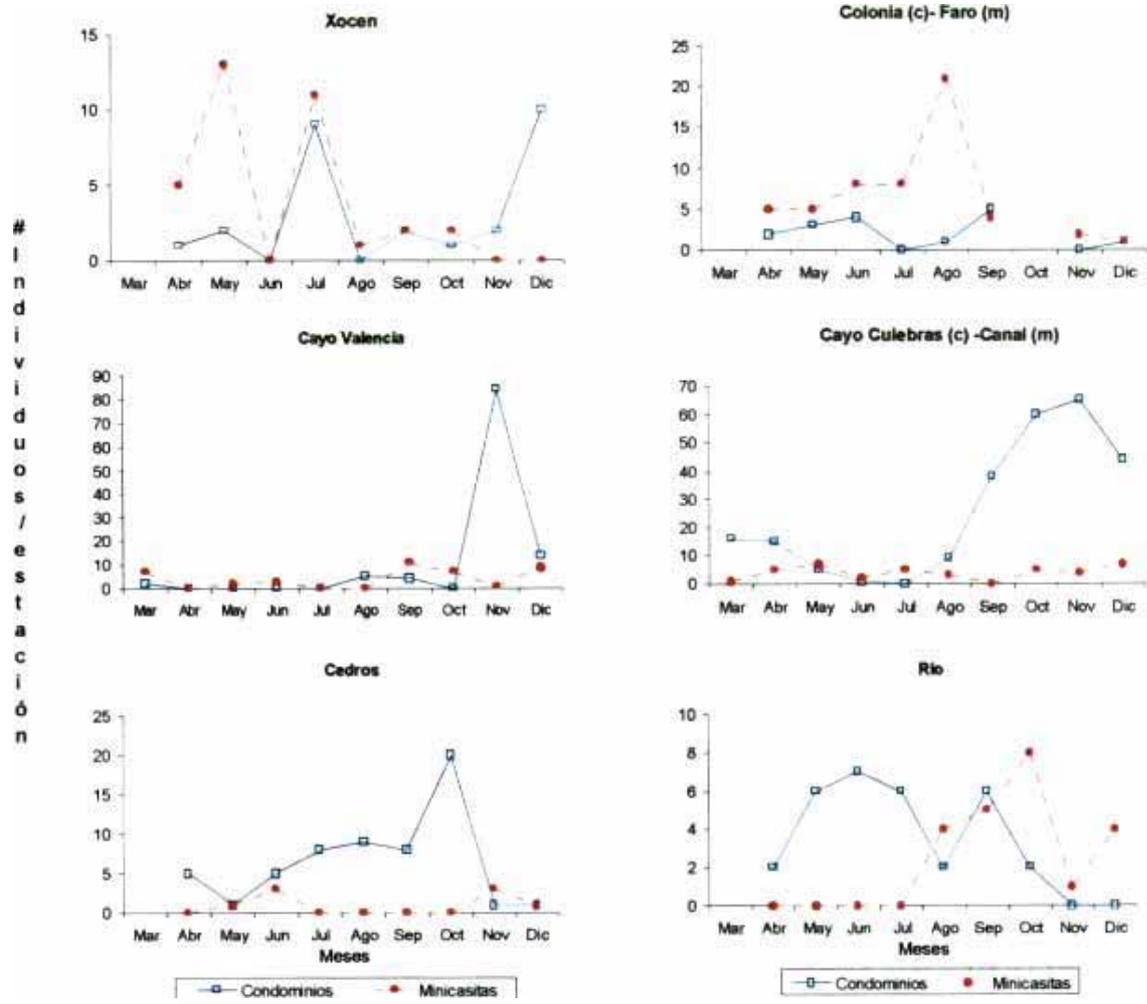
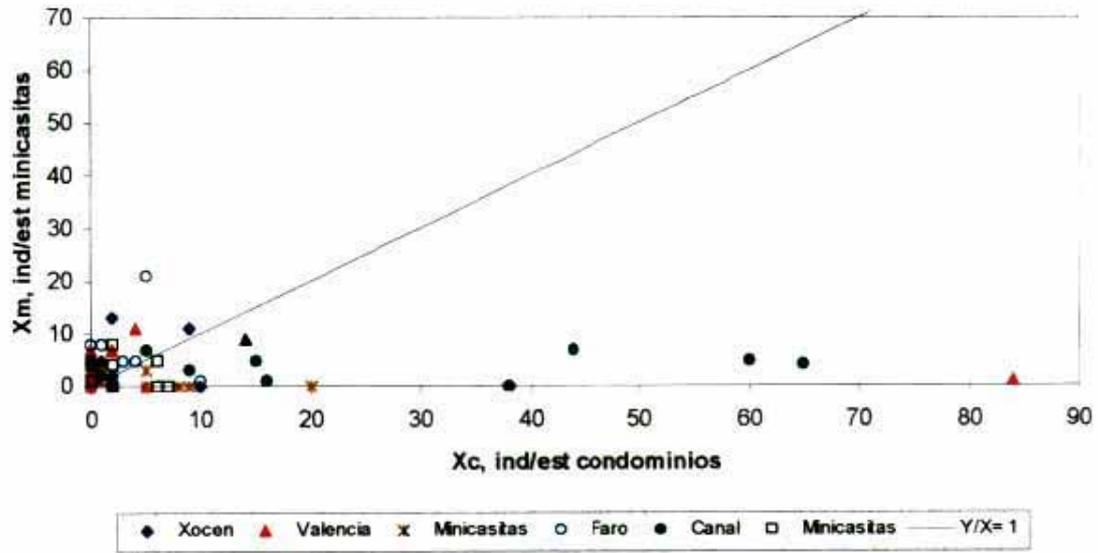


Figura 4.

Razón de abundancias minicasita- condominios



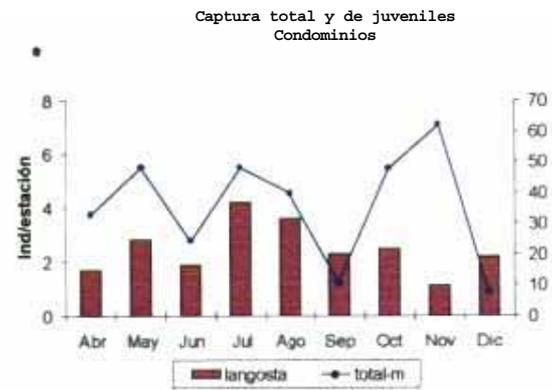
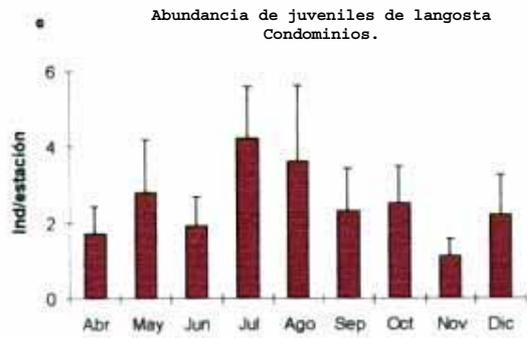
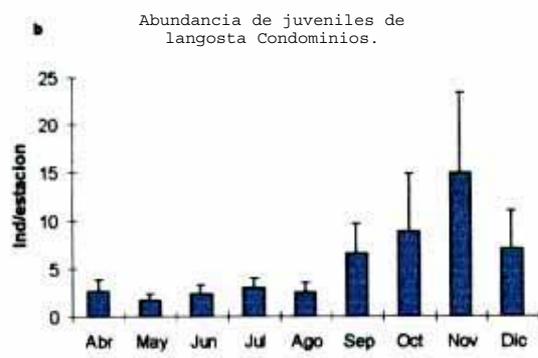


Figura 6.

Varianza-media. Juveniles/estación. Condominios y minicasitas.  
Modelo de Taylor ( $a= 1,45$  ,  $d= 2.393$ )

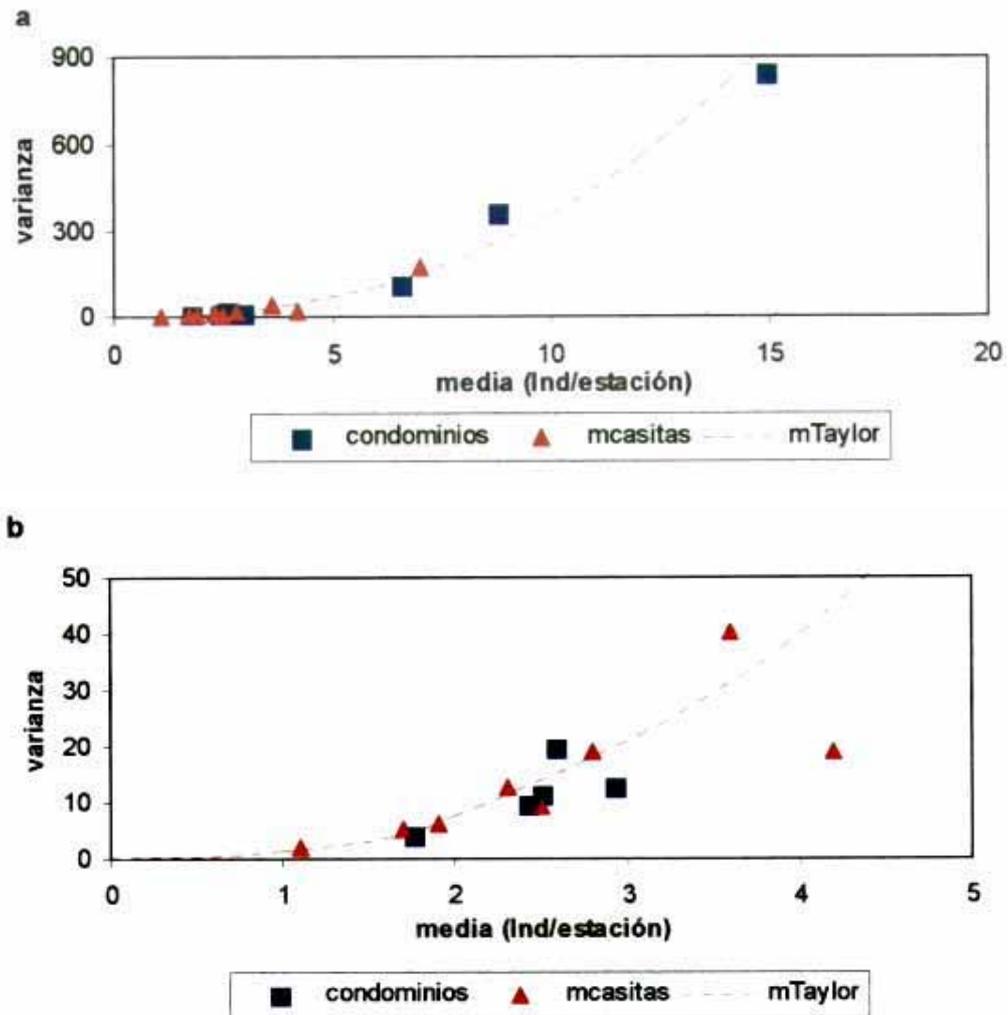


Figura 7.

Indice de precisión de estimaciones de abundancia. Juveniles en condominios y minicasitas.

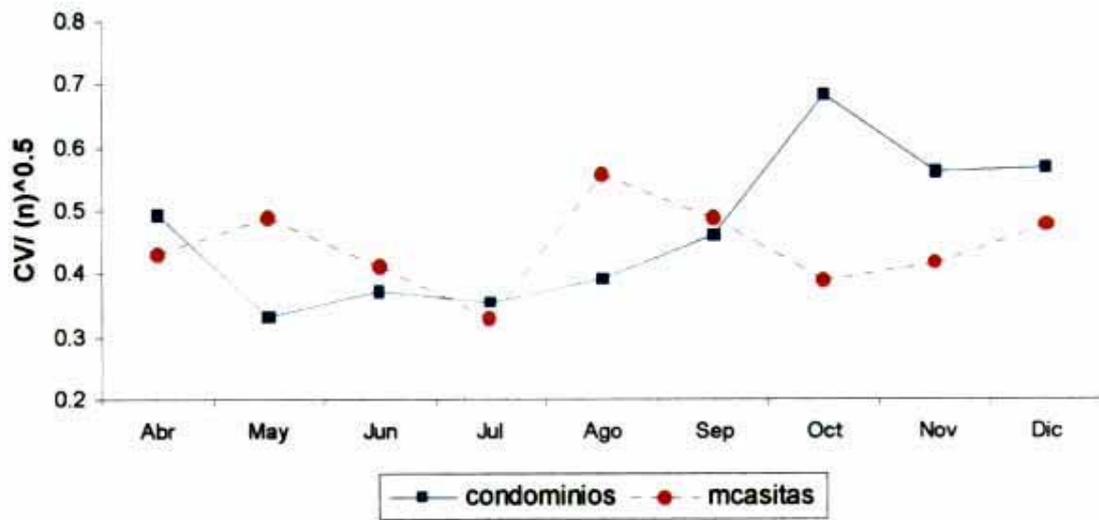


Figura 8.

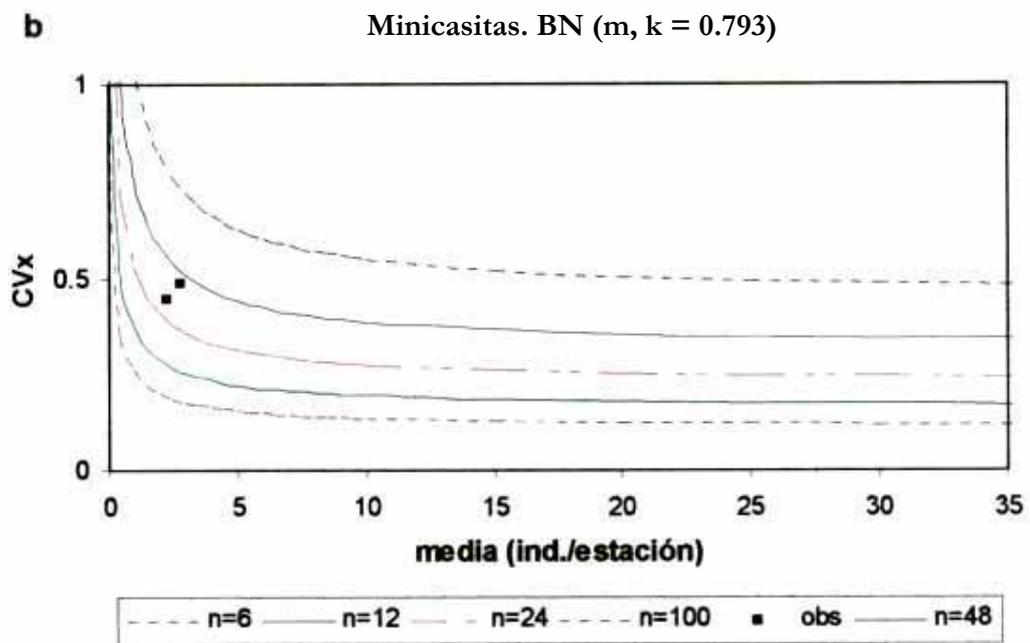
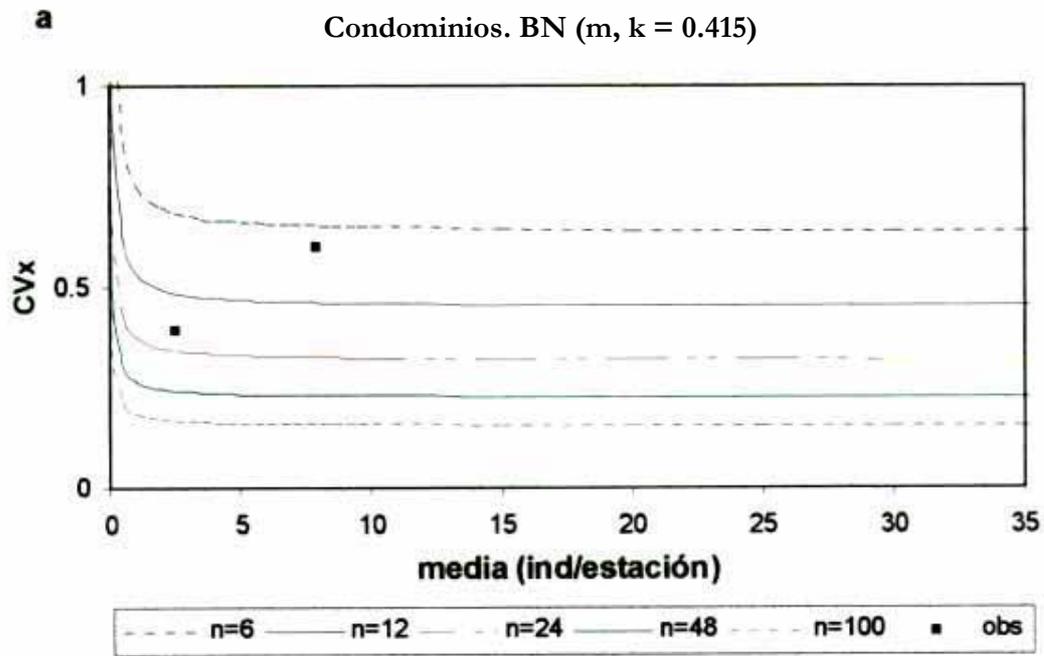


Figura 9.

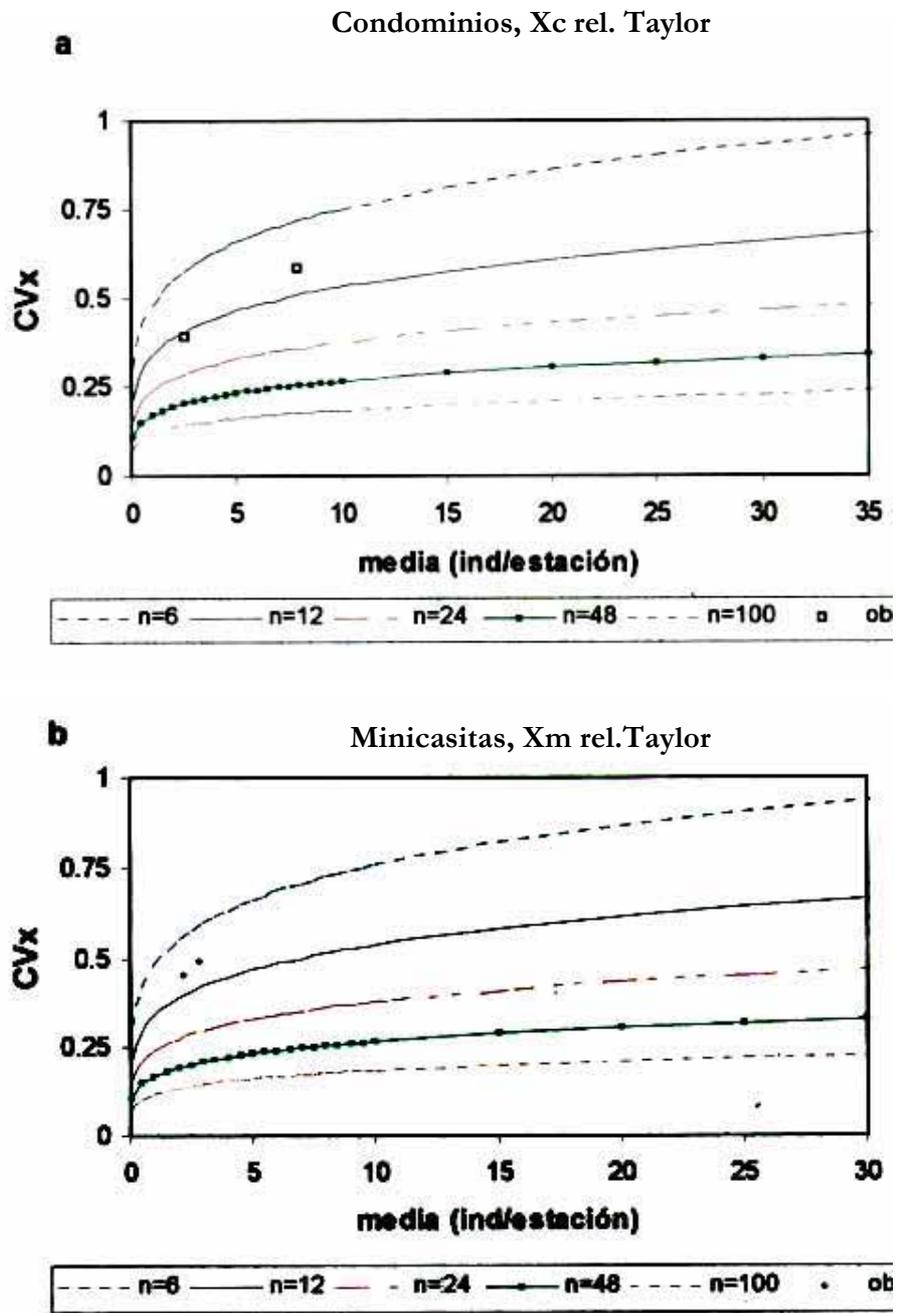


Figura 10.

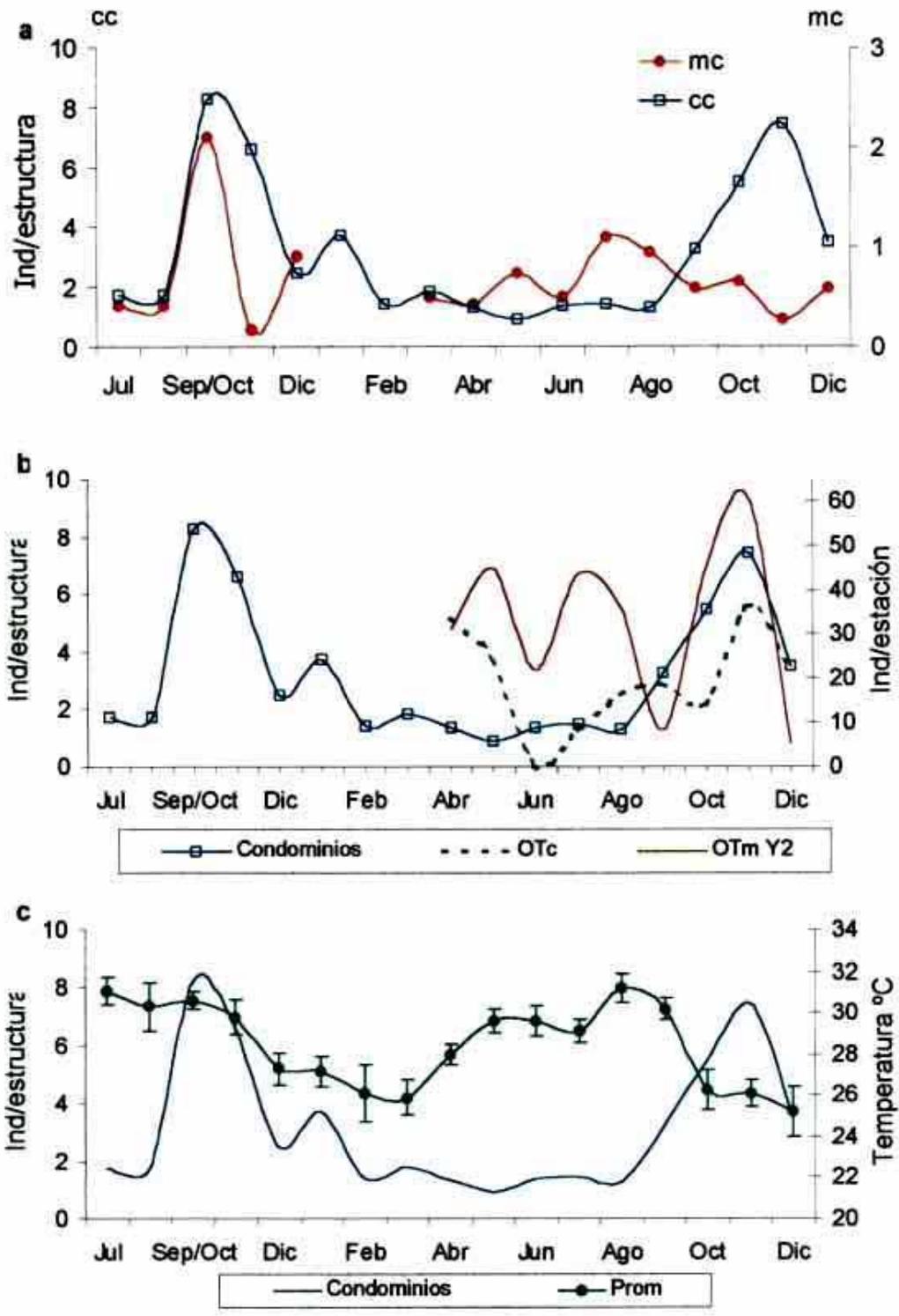


Figura 11.

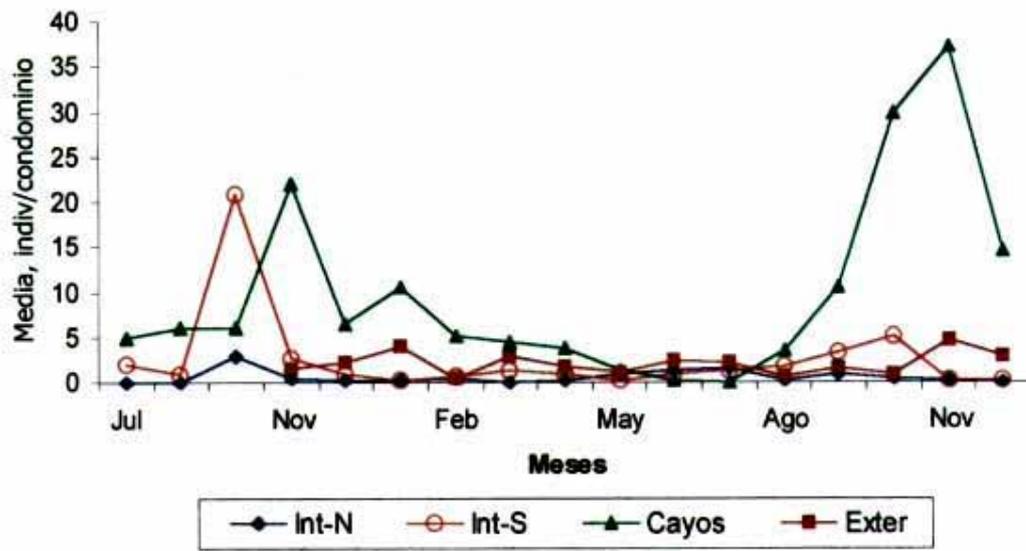


Figura 12.

J u v e n i l e s  
d e  
l a  
n g o s t a  
—  
i n d  
e s t a  
c i ó n

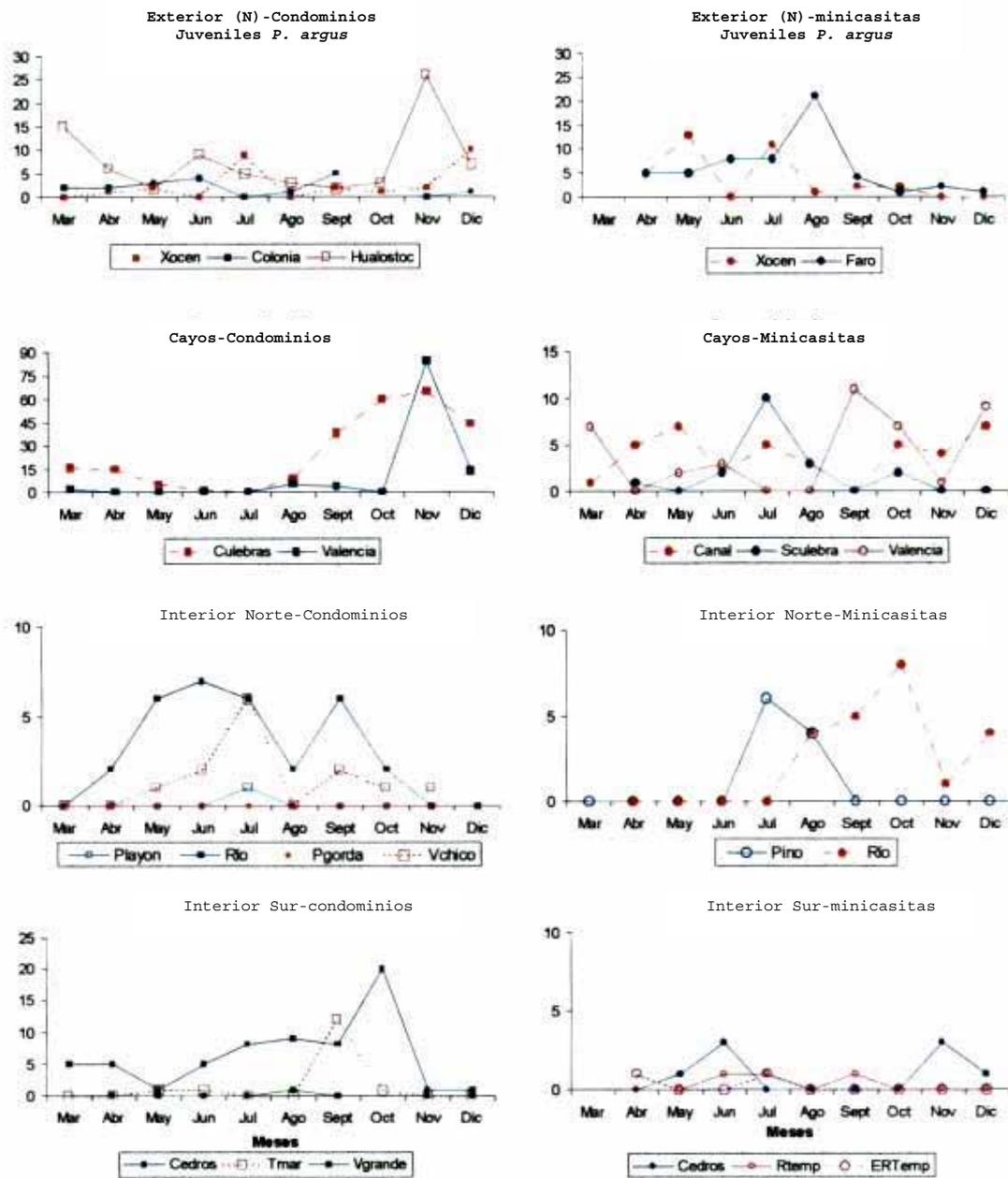


Figura 13.

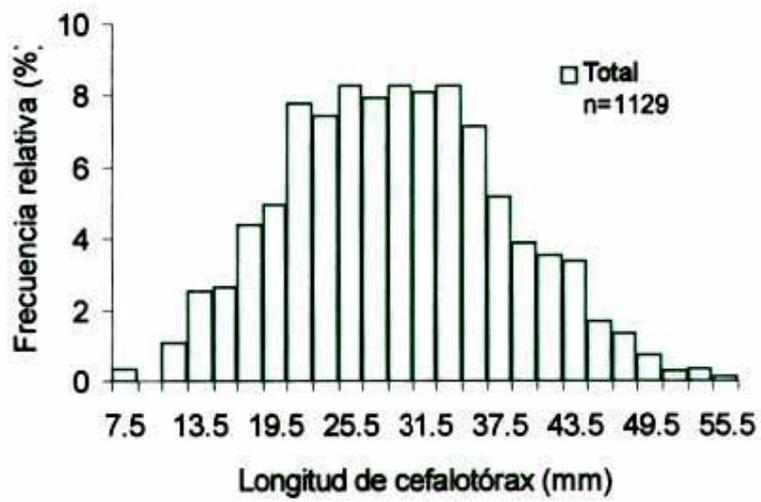


Figura 15.

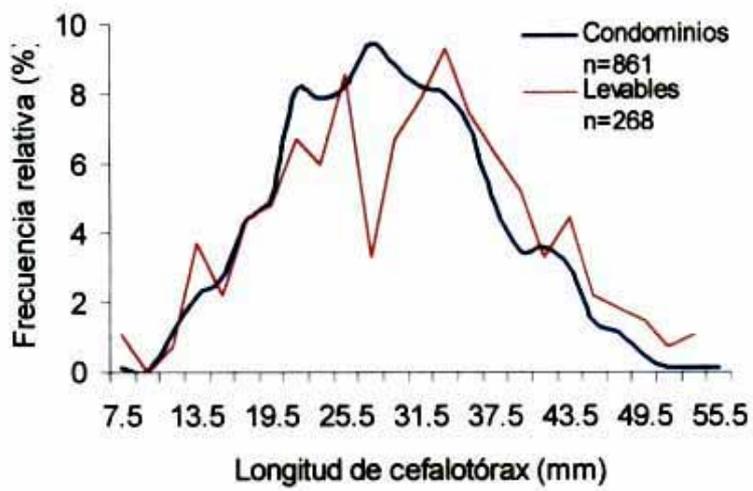


Figura 16.

F  
r  
e  
c  
u  
e  
n  
c  
i  
a  
  
r  
e  
l  
a  
t  
i  
v  
a  
  
(%)

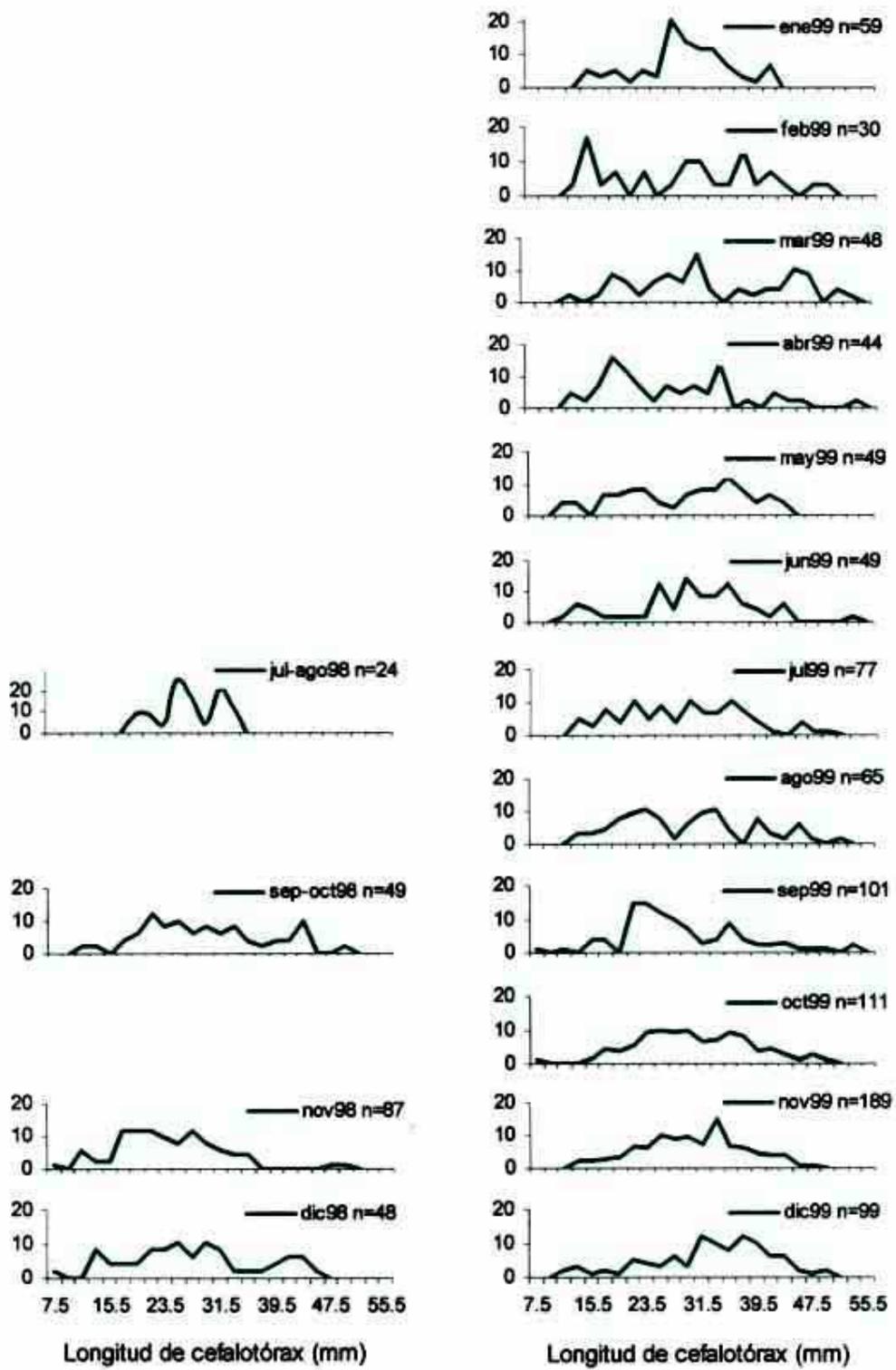


Figura 17.

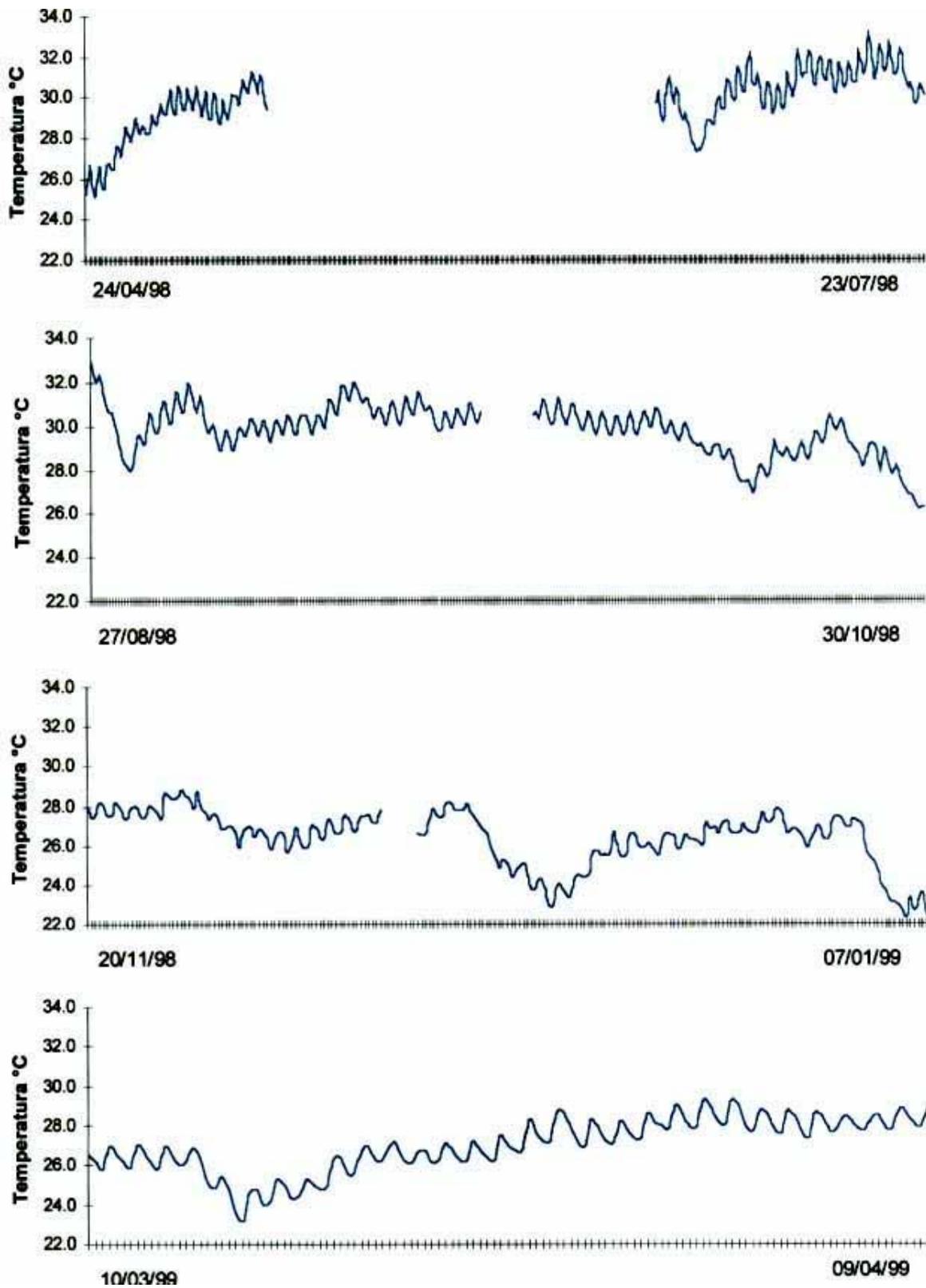


Figura 18.

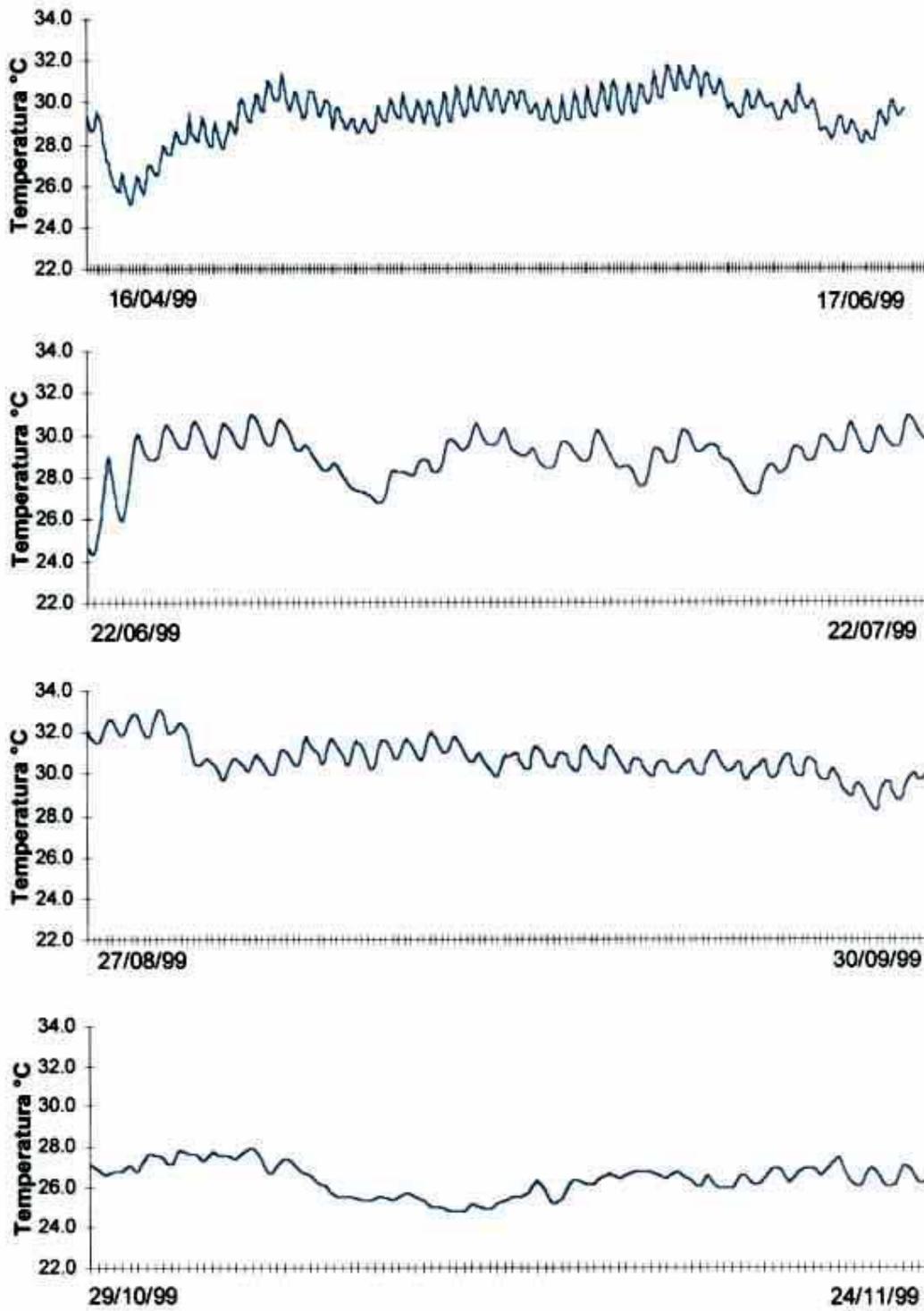


Figura 19.

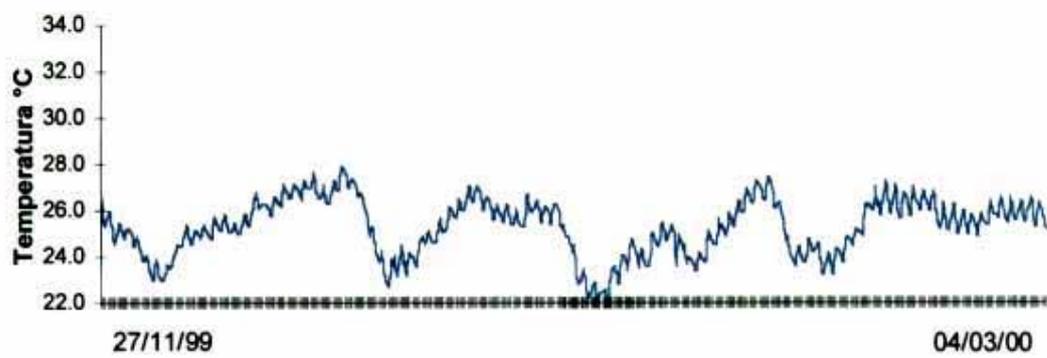


Figura 20.

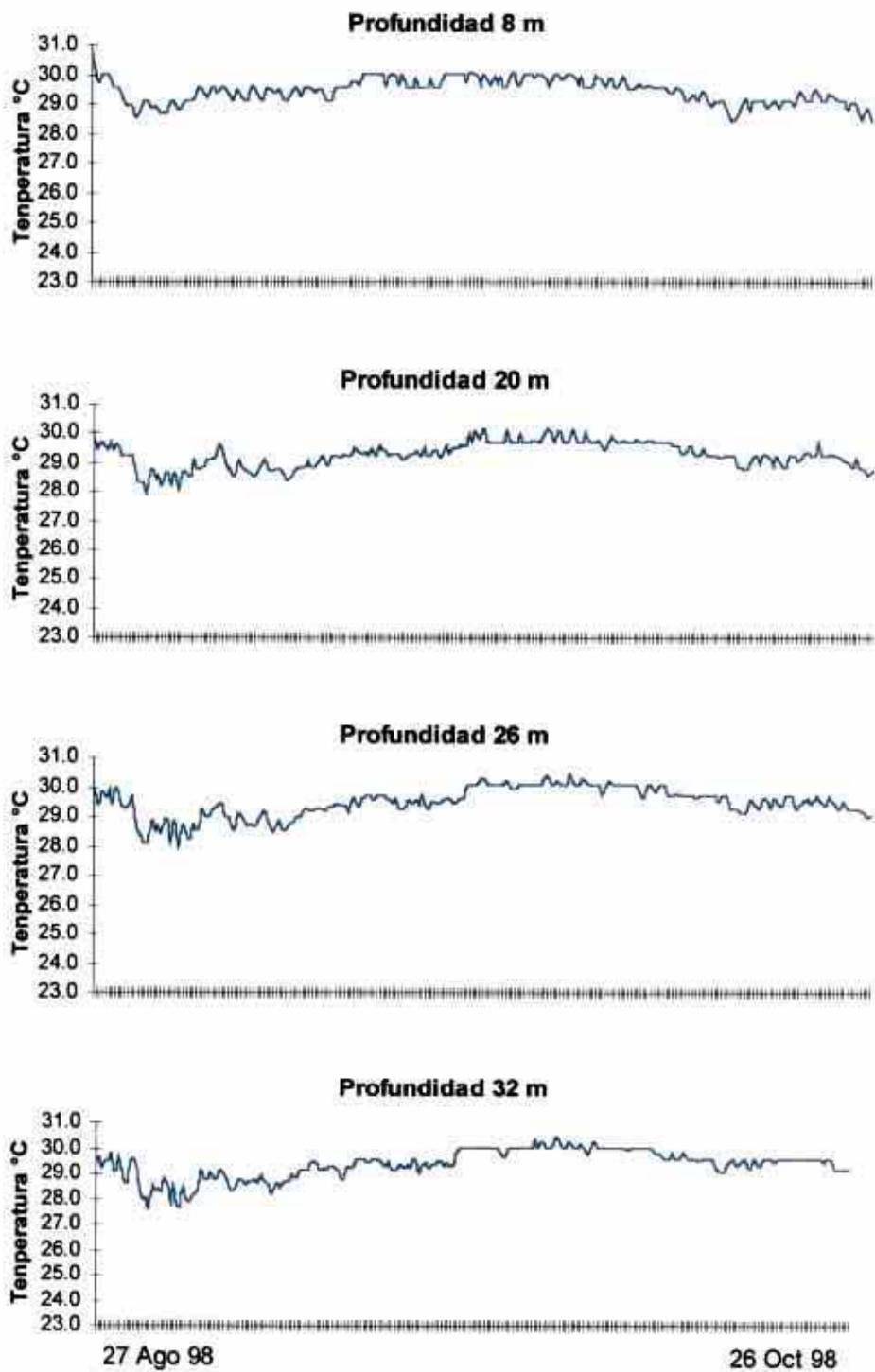


Figura 21.

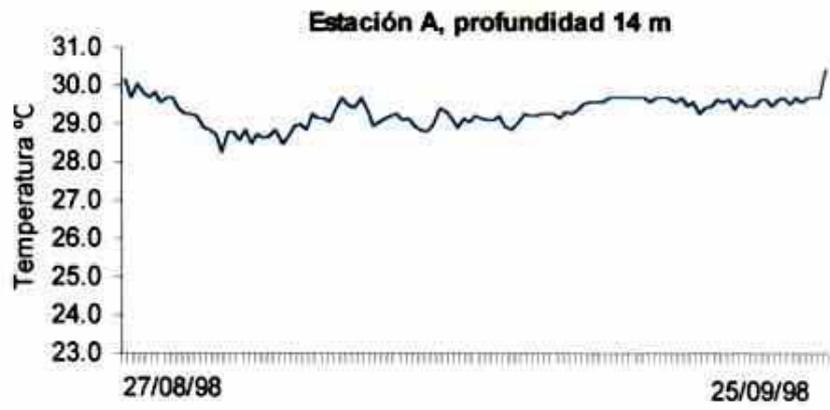


Figura 22.

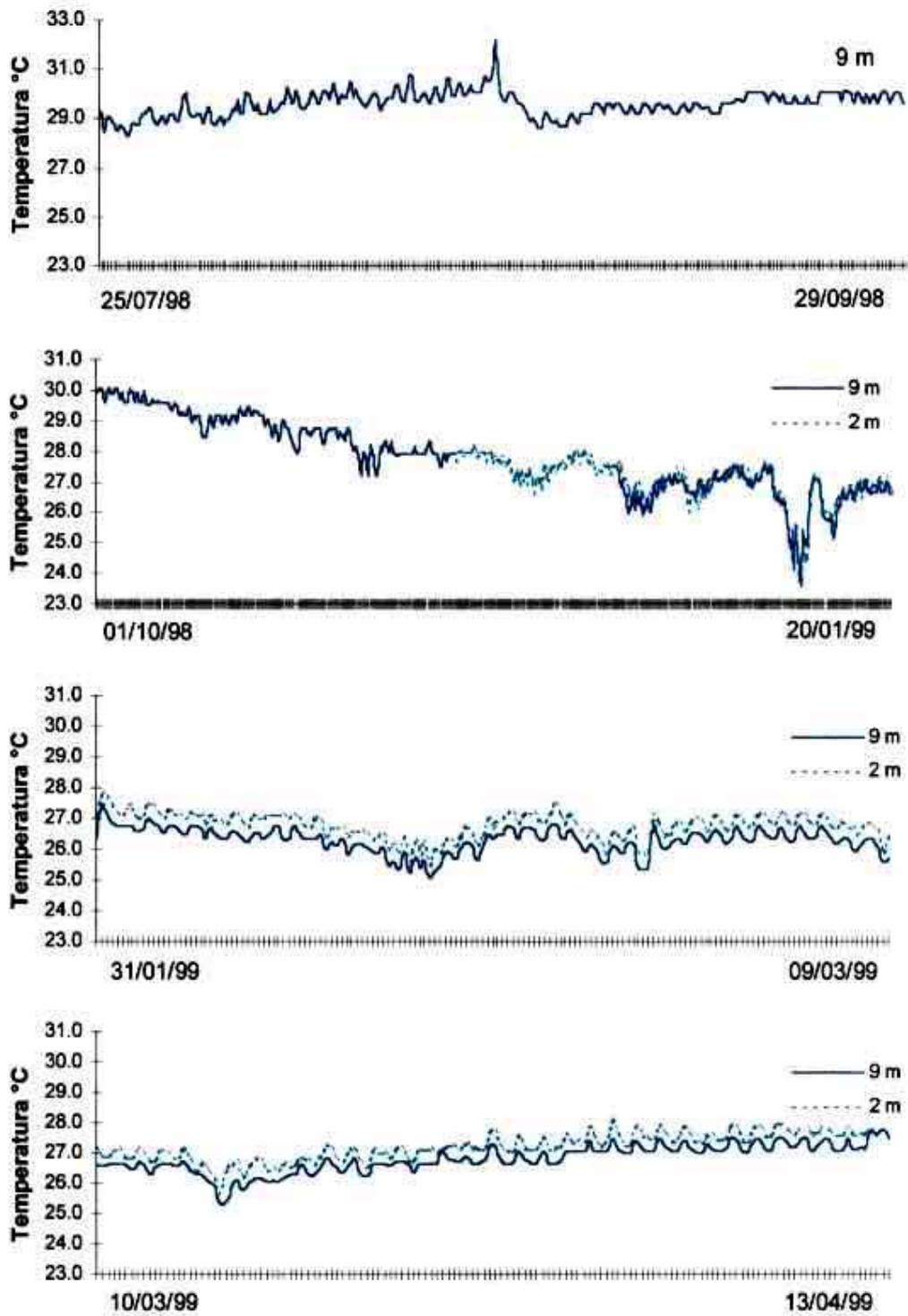


Figura 23.

O  
t  
r  
o  
s  
t  
a  
x  
a  
—  
i  
n  
d  
i  
v  
i  
d  
u  
a  
l  
e  
s  
t  
a  
c  
i  
o  
n

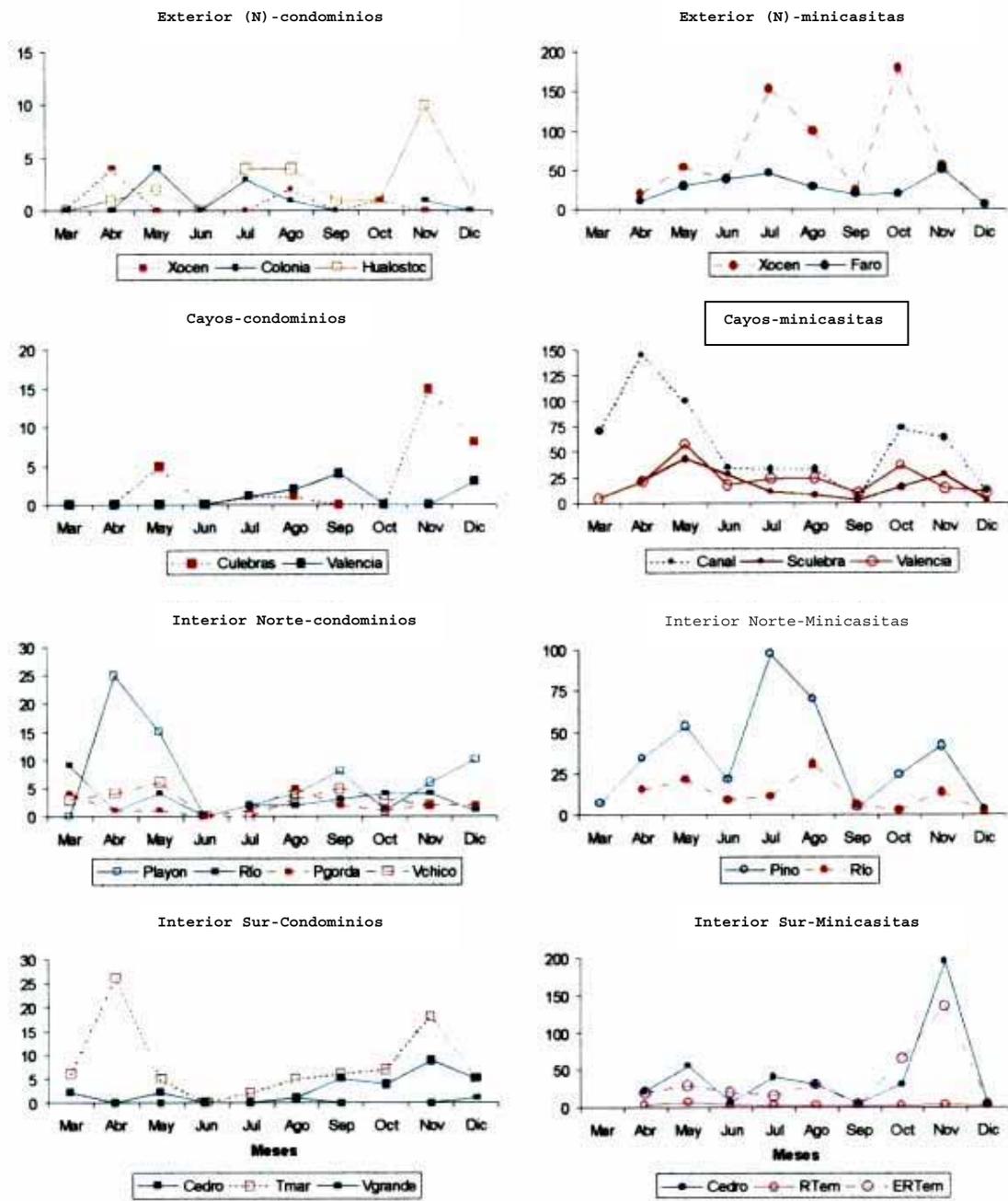


Figura 14.

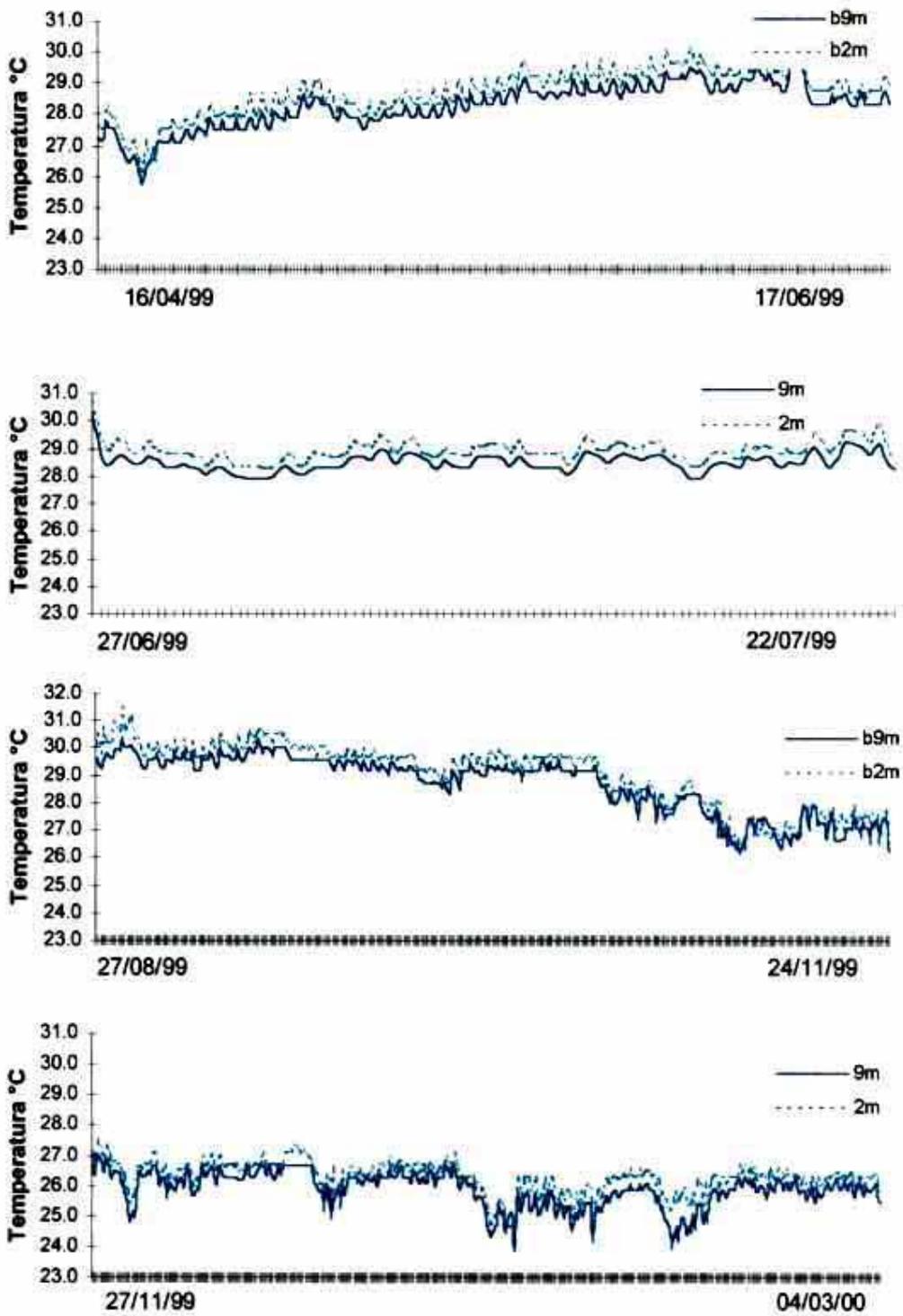


Figura 24.

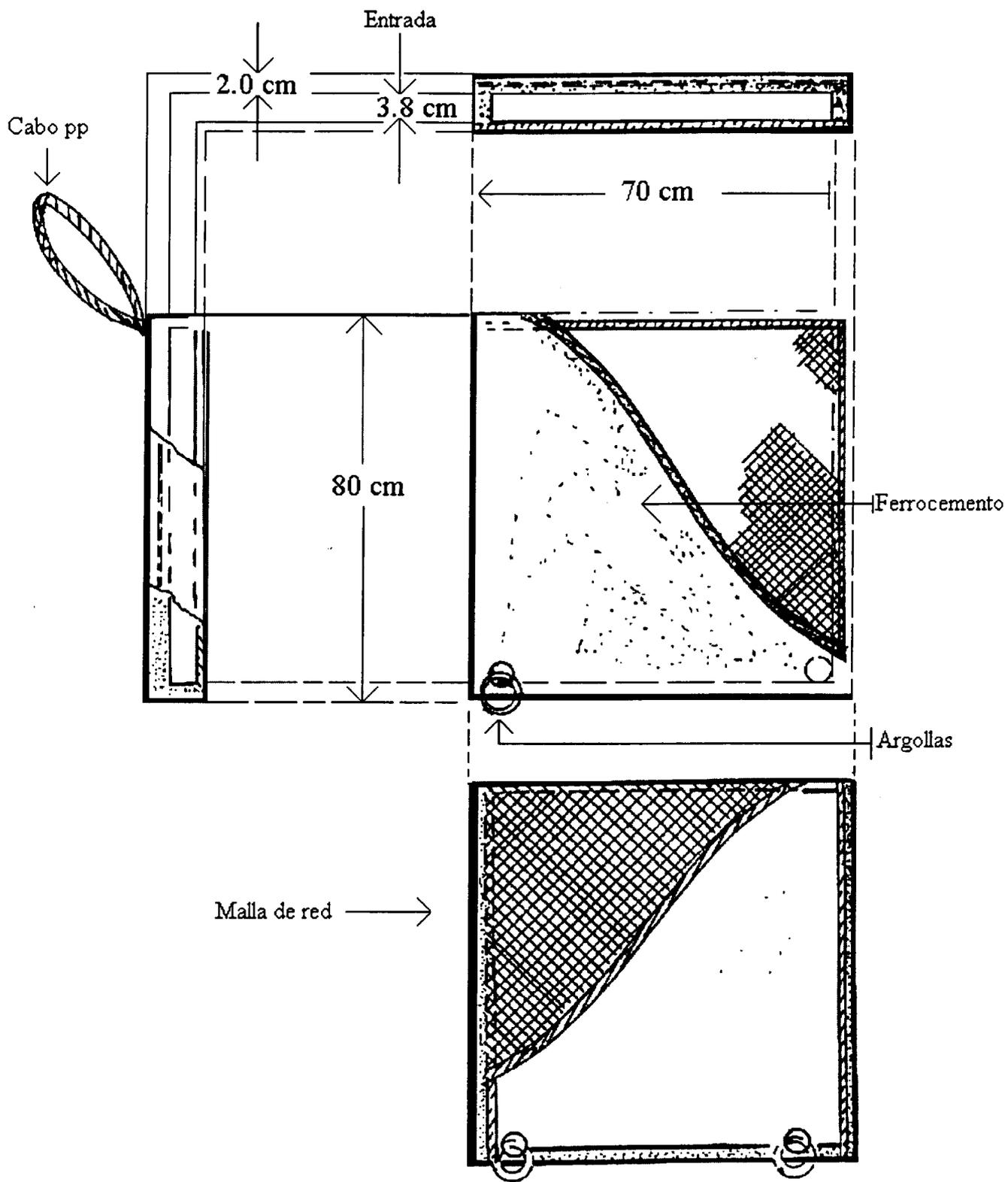
## APENDICE

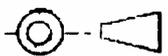
Tabla A.1. Abundancia, en número de individuos, de juveniles de peces, crustáceos y otros taxa encontrados en estaciones de minicasitas, en diferentes áreas de Bahía de la Ascensión.

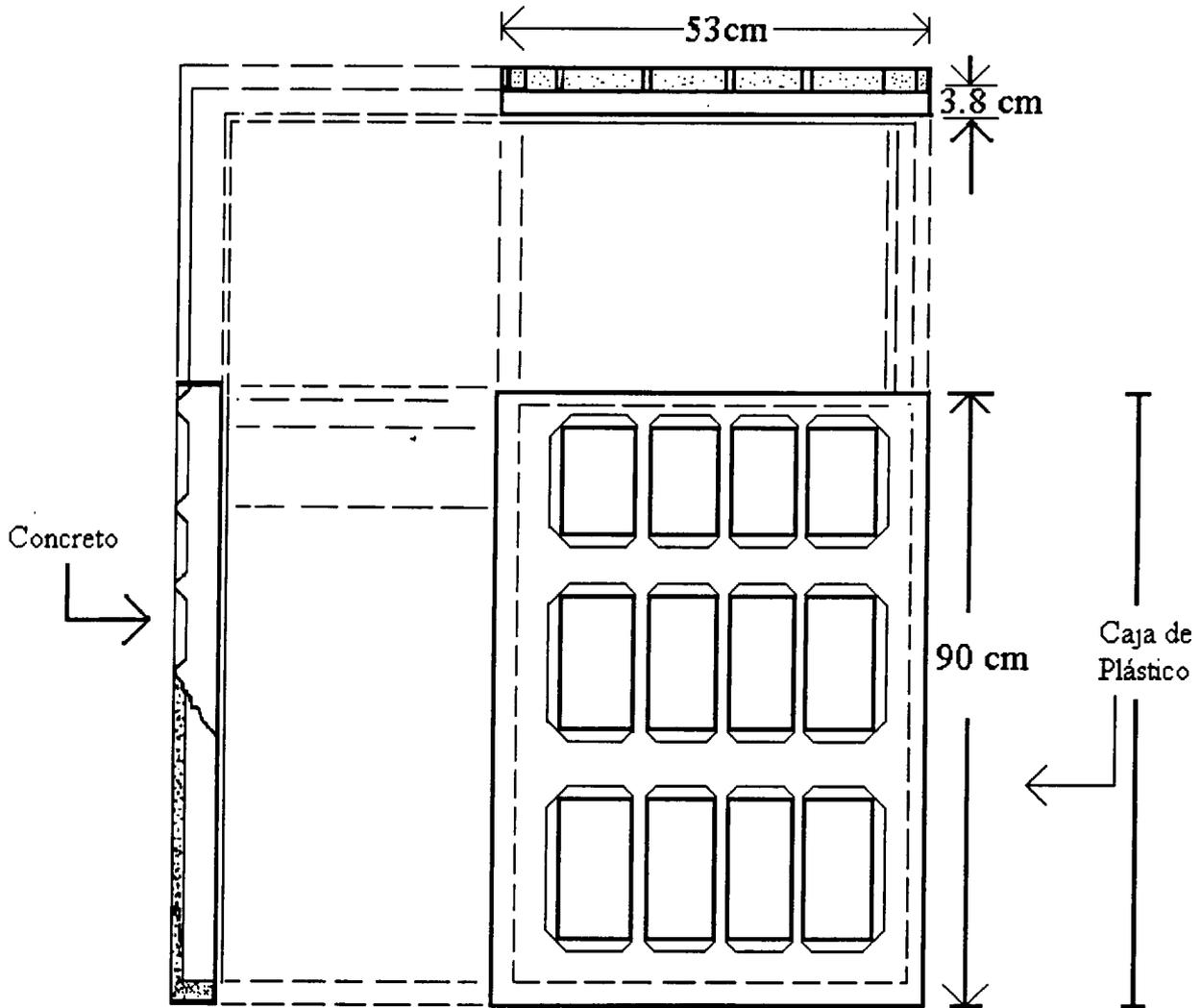
Lista de especies		Mayo 1999											
		Area Externa			Area Int. Norte		Area Cayos			Area Interior Sur			
	Total	MC9	MC10	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	MC6	MC7	MC8		
<b>Peces</b>													
<i>Pareques acuminatus</i>	133	3	25	15	7	11	6	23	26	14	3		
<i>Haemulon plumieri</i>	104	21	4		9	1	39		8	22			
<i>Apogon aurolineatus</i>	85					69	16						
<i>Haemulon macrostomun</i>	21					20			1				
<i>Sargocentron coruscum</i>	8	5				1	1		1				
<i>Holocentrus rufus</i>	7	5			1		1						
<i>Haemulon aurolineatum</i>	7		2		1			3			1		
<i>Acanthurus chirurgus</i>	6		1				2			3			
<i>Apogon maculatus</i>	3	2							1				
<i>Sparisoma rubripinne</i>	2									1	1		
<i>Lutjanus jocu</i>	2										2		
<i>Lutjanus analis</i>	2									1	1		
	1						1						
<b>Subtotal</b>	<b>381</b>	<b>36</b>	<b>32</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>102</b>	<b>66</b>	<b>26</b>	<b>37</b>	<b>41</b>	<b>8</b>		
<b>Crustáceos</b>													
<i>Panulirus argus</i>	28	13	5			7	2		1				
<i>Menippe mercenaria</i>	14			4	1	4		2	1	1	1		
<i>Callinectes sapidus</i>	18	8	6		1	1	2						
<i>Stenopus hispidus</i>	10	3	7										
<i>Lysmata sp.</i>	9	1	2			6							
<i>Portunus sp</i>	4		3		1								
<i>Portunus sebae</i>	2										2		
<i>Stenorhynchus seticornis</i>	2		2										
Cangrejo ermitaño	1	1											
<b>Subtotal</b>	<b>88</b>	<b>26</b>	<b>25</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>		
<b>Total</b>	<b>469</b>	<b>62</b>	<b>57</b>	<b>19</b>	<b>21</b>	<b>120</b>	<b>70</b>	<b>28</b>	<b>39</b>	<b>42</b>	<b>11</b>		

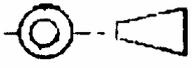
Tabla A.2. Abundancia, en número de individuos, de juveniles de peces, crustáceos y otros taxa encontrados en estaciones de minicasitas, en diferentes áreas de Bahía de la Ascensión. Se presentan los datos de Agosto de 1999.

<b>Agosto 1999</b>		Area Externa	Area Int. Norte	Area Cayos				Area Interior Sur			
Lista de especies	Total	MC9	MC10	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	MC6	MC7	MC8
<b>Peces</b>											
<i>Haemulon plumieri</i>	161	50	2	4	32	11	12		18	32	
<i>Pareques acuminatus</i>	79	2		25	32	11		4	5		
<i>Haemulon flavolineatum</i>	42	42									
<i>Acanthurus chirurgus</i>	16	10	1				2		1	2	
<i>Haemulon sciurus</i>	8									7	1
<i>Holacanthus ciliaris</i>	5	1	2			1	1				
<i>Apogon spp.</i>	3					3					
<i>Chaetodon capistratus</i>	2	2									
<i>Epinephelus striatus</i>	1			1							
<i>Opsanus beta</i>	1				1						
<i>Chaetodon ocellatus</i>	1	1									
<i>Acanthurus coeruleus</i>	1	1									
<i>Apogon maculatus</i>	1	1									
<i>Rypticus bistrispinus</i>	1	1									
<i>Phaeoptyx pigmentaria</i>	1		1								
<i>Gnatholepis thompsoni</i>	1		1								
<i>Haemulon aurolineatum</i>	1								1		
Morena	1	1									
<b>Subtotal</b>	<b>326</b>	<b>112</b>	<b>7</b>	<b>30</b>	<b>65</b>	<b>26</b>	<b>15</b>	<b>4</b>	<b>25</b>	<b>41</b>	
<b>Crustáceos</b>											
<i>Panulirus argus</i>	36	1	21	4	4	3	0	3	0	0	0
<i>Menippe mercenaria</i>	14			1	1	4	2	4		2	
<i>Stenopus hispidus</i>	12	4	6				2				
<i>Mitrax (varias sp.)</i>	11	6	4							1	
<i>Stenorhynchus seticornis</i>	7	3	4								
<i>Lysmata sp.</i>	7	2	4		1						
<i>Portunus sp</i>	5	1			1		2			1	
<i>Callinectes sapidus</i>	5					1	3		1		
<i>Portunus sebae</i>	2			1						1	
<b>Otros</b>											
Huevos de Cefalópodo	2		1							1	
Poliqueto	1	1									
Erizo	1		1								
<b>Subtotal</b>	<b>103</b>	<b>18</b>	<b>41</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>0</b>
<b>Total</b>	<b>429</b>	<b>130</b>	<b>48</b>	<b>36</b>	<b>72</b>	<b>34</b>	<b>24</b>	<b>11</b>	<b>26</b>	<b>47</b>	<b>1</b>



Escala: 1:100 Acot: cm	S.E.P. UECyTM C.E.T. del Mar No.10	Dibujo: P. Ivan Caballero Modificaciones: Biol.	
	Minicasita levable No. 1 Ferrocemento y malla	Fecha: May-98	Adrián Cervantes Martínez A-4- 2.1



<b>Escala: 1:100</b> <b>Acot: cm</b>	<b>SEP UECyTM</b> <b>C.E.T. del Mar No.10</b>	<b>Dibujo: P. Ivan Caballero</b> <b>Modificaciones: Biol.</b>	
	<b>Minicasita No. 2</b> <b>Plástico y Malla</b>	<b>Fecha: May-98</b>	<b>A4 -31</b>