



**Evaluación de estrategias para la explotación
óptima de la población de langosta *Panulirus argus*
en la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro,
Quintana Roo**

TESIS

Que para obtener el grado académico de

Maestro en Ciencias

Con orientación en Biología marina

Presenta

Biólogo Kim Ley Cooper

Directora de tesis: Dra. Elva Escobar Briones (ICML-UNAM)

Comité Tutorial: Dr. Enrique Lozano (ICML PM), Dr. Ernesto Chávez:
(CICIMAR-IPN), Dr. Luis Eguiarte (Inst. de Ecología-UNAM), Dr. Manuel
Gallardo (ICML-UNAM)

Octubre, 2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

| | |
|--|----|
| INDICE..... | 2 |
| INDICE DE FIGURAS..... | 4 |
| INDICE DE TABLAS..... | 6 |
| RESUMEN | 8 |
| ABSTRACT..... | 9 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 10 |
| 2. ANTECEDENTES | 13 |
| 2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE..... | 13 |
| 2.2 PESQUERÍA Y MODELOS..... | 14 |
| 3. OBJETIVOS..... | 16 |
| I.- Estimación de la densidad y distribución de Panulirus argus por medio de la observación con transectos..... | 16 |
| II.-Observaciones en campo de capturas y datos pesqueros | 16 |
| 4. HIPÓTESIS..... | 17 |
| 5. ÁREA DE ESTUDIO..... | 18 |
| 6. METODOLOGÍA..... | 20 |
| Definiciones y conceptos..... | 20 |
| 6.1 TRABAJO DE CAMPO: ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE PANULIRUS ARGUS POR MEDIO DE LA OBSERVACIÓN..... | 20 |
| CON TRANSECTOS..... | 20 |
| 6.1.1 Prospección previa de las localidades de muestreo (sitio):..... | 21 |
| 6.1.2 Zonación..... | 21 |
| 6.1.3 Delimitación de zonas de estudio..... | 26 |
| 6.1.4 Inmersiones de observación y transectos..... | 26 |
| 6.1.5 Cálculo de la densidad | 29 |
| 6.1.6 Identificación del dimorfismo sexual: | 30 |
| 6.1.7 Determinación de la talla..... | 31 |
| 6.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO..... | 32 |
| 6.2.1 Análisis de frecuencias de densidad: | 32 |
| 6.2.1.1 La relación densidad vs. Profundidad..... | 33 |
| 6.2.1.2 Cambio de la densidad vs. zona fisiográfica | 33 |
| 6.2.1.3 Prueba de diferencias de densidad entre zonas fisiográficas..... | 34 |
| 6.2.1.4 Efecto del Nivel de desarrollo arrecifal vs. categorías de densidad..... | 34 |
| 6.2.1.5 Efecto de la Profundidad vs. las Tallas Grandes Reproductivas..... | 34 |
| 6.3 OBSERVACIÓN EN CAMPO DE CAPTURAS Y DATOS PESQUEROS..... | 35 |
| 6.3.1 Manejo, estructura administrativa y contable de las cooperativas..... | 35 |
| 6.3.2 Datos pesqueros | 35 |
| 6.3.2.1 Captura..... | 35 |
| 6.3.2.2 Edad y análisis de frecuencias de tallas 2005..... | 35 |
| 6.3.2.3 Mortalidad (F) 2005..... | 37 |
| 6.4 MODELO DE FISMO (FISHERY SIMULATION MODEL)..... | 38 |
| 6.4.1 Elementos del modelo..... | 38 |
| 6.4.1.1 Datos..... | 39 |
| 6.4.1.2 Crecimiento y estructura de edades..... | 39 |
| 6.4.1.3 Reclutamiento..... | 40 |
| 6.4.1.4 Análisis bioeconómico..... | 41 |

| | |
|--|-----|
| 6.4.1.5 Capacidad de pesca y número de pescadores | 41 |
| 6.4.1.6 Simulación | 42 |
| 6.4.1.7 Escenarios de explotación..... | 43 |
| 7. RESULTADOS..... | 44 |
| 7.1 ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE PANULIRUS ARGUS POR MEDIO DE LA OBSERVACIÓN CON TRANSECTOS..... | 45 |
| 7.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO..... | 49 |
| 7.2.1 Análisis de frecuencias de densidad:..... | 49 |
| 7.2.1.1 La relación densidad vs. Profundidad..... | 52 |
| 7.2.1.2 Cambio de la densidad vs. zona fisiográfica | 55 |
| 7.2.1.3 Diferencias entre Zonas fisiográficas..... | 58 |
| 7.2.1.4 Efecto del Nivel de desarrollo arrecifal vs. categorías de densidad..... | 59 |
| 7.2.1.5 Efecto de la Profundidad vs. las Tallas Grandes Reproductivas..... | 61 |
| 7.3 OBSERVACIÓN EN CAMPO DE CAPTURAS Y DATOS PESQUEROS..... | 63 |
| 7.3.1 Manejo, estructura administrativa y contable de las cooperativas..... | 64 |
| 7.3.1.1 Manejo y Reglamentación..... | 67 |
| 7.3.1.2 Arte de pesca | 68 |
| 7.3.1.3 Procesamiento..... | 69 |
| 7.3.1.4 Comercialización..... | 70 |
| 7.3.2 Datos Pesqueros..... | 71 |
| 7.3.2.1 Captura..... | 71 |
| 7.3.2.2 Captura por pescador durante la temporada de pesca 2003-04..... | 75 |
| 7.3.2.3 Proporción de Tallas | 76 |
| 7.3.2.4 Edad y análisis de frecuencias de tallas 2005..... | 77 |
| 7.3.2.5 Mortalidad (F) estimada en la temporada 2005..... | 79 |
| 7.4 MODELO DE FISMO (FISHERY SIMULATION MODEL) | 81 |
| 7.4.1 Resultados del FISMO | 81 |
| 7.4.1.1 Ajuste del modelo | 81 |
| 7.4.1.2 Stock de reclutamiento..... | 82 |
| 7.4.1.3 Captura potencial..... | 83 |
| 7.4.1.4 Rendimiento económico potencial..... | 85 |
| 7.4.1.5 Tamaño de la flota..... | 88 |
| 7.4.1.6 Beneficios sociales..... | 89 |
| 7.4.1.7 Diagnóstico de la pesquería..... | 90 |
| 8. DISCUSIÓN..... | 91 |
| 8.1 ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE PANULIRUS ARGUS POR MEDIO DE LA OBSERVACIÓN CON TRANSECTOS..... | 91 |
| 8.1.1 Análisis de frecuencias de densidad..... | 92 |
| 8.1.1.1 La relación de profundidad vs densidad..... | 92 |
| 8.1.1.2 Cambio de la densidad vs. zonas fisiográficas..... | 93 |
| 8.1.1.3 Densidad y desarrollo arrecifal..... | 96 |
| 8.1.1.4 Tallas | 97 |
| 8.1.1.5 Reclutamiento larval | 98 |
| 8.2 COMPOSICIÓN DE LA CAPTURA Y DATOS PESQUEROS..... | 99 |
| 8.2.1 Datos Pesqueros..... | 99 |
| 8.2.1.1 Composición por Tallas..... | 100 |
| 8.2.1.2 Tendencias de las capturas de cola de langosta..... | 102 |

| | |
|---|-----|
| 8.2.1.3 Mortalidad..... | 103 |
| 8.2.1.4 Artes de pesca alternativas y estrategias de mercado..... | 103 |
| 8.3 MODELO DE FISMO (FISHERY SIMULATION MODEL)..... | 104 |
| Escenarios de manejo | 106 |
| 9. CONCLUSIONES | 109 |
| I.- Estimación de la densidad y distribución de Panulirus argus por medio de la observación con transectos..... | 109 |
| II.- Composición de la captura y datos pesqueros..... | 111 |
| III Modelo de FISMO..... | 113 |
| REFERENCIAS | 114 |
| AGRADECIMIENTOS | 118 |
| ANEXOS | 121 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1- Mapa de Banco Chinchorro y el Caribe..... | 18 |
| Figura 2 - Perfil transversal mostrando zonas de caracterización de los arrecifes de Banco Chinchorro realizada por Amigos de Sian Ka'an, A.C. (Amigos de Sian Kaan 1997, INE-SEMARNAP 2000). Se presentan las zonas y subzonas arrecifales. CE = Cordillera exterior ; TE = Terraza exterior ; CI = Cordillera interior TI = Terraza interior; TS = Transición sotavento; ANI = Anillo; PO = Arrecife posterior ; RO = Rompiente arrecifal; TB = Transición barlovento; FI = Frontal interior; FE = Frontal exterior y FP = Frontal profundo. | 24 |
| Figura 3 - Características de una hembra de <i>Panulirus argus</i> con madurez sexual. Se observa el gonoporo, la uña en el quinto par de pereópodos, el manchón de espermatóforo en el esternón y los endopoditos (González-Cano 1991)..... | 30 |
| Figura 4 - Ajuste de las medidas de longitud cefalotorácica en función de los cuernos rostrales..... | 31 |
| Figura 5 - Distribución de las localidades avistadas en zona norte. La densidad de langostas está en proporción al tamaño del círculo rojo. Mapa de fondo tomado de base de datos de CONANP – Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Levantamiento geográfico y caracterización geomorfológica con énfasis en las comunidades coralinas e ícticas, responsable Dr. Jesús Ernesto Arias González | 45 |
| Figura 6 - Distribución de las localidades avistadas zona sur. La densidad de langostas está en proporción al tamaño del círculo rojo. Mapa de fondo tomado de base de datos de CONANP – Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Levantamiento geográfico y caracterización geomorfológica con énfasis en las comunidades coralinas e ícticas, responsable Dr. Jesús Ernesto Arias González | 46 |
| Figura 7 - Frecuencia de sitios observados y clasificados por categorías de densidad de <i>Panulirus argus</i> ; baja (1) media (2) alta (3) y muy alta (4). Se muestra una distribución normal con ajuste de la Chi cuadrada = 8.85935 con 2 grados de libertad y una p= 0.01192. | 51 |
| Figura 8 - Perfil de profundidad vs. valores de densidad (indha-1) de langostas <i>Panulirus argus</i> , para 31 sitios de muestreo en la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro. | 52 |
| Figura 9 - Representación gráfica del análisis de varianza ANOVA que compara entre las diferentes zonas fisiográficas de la RBBCh, y los valores categóricos de densidad relativa 1=BAJA, 2=MEDIA, 3= ALTA y 4=MUY ALTA..... | 58 |
| Figura 10 - Tendencia de las capturas kg (peso en colas de langosta) desde 1982 hasta el 2004 en kg..... | 72 |
| Figura 11 - Se observan las capturas mensuales que siguen un patrón progresivamente descendente conforme avanza la temporada de julio hacia diciembre. Se observan algunas pulsaciones durante enero y febrero, que puede atribuirse a que la actividad pesquera durante diciembre disminuye..... | 74 |
| Figura 12 - a) captura promedio por pescador y b) captura total colas (kg) para la temporada 2003 – 2004..... | 75 |
| Figura 13 - Estructura de tallas de <i>Panulirus argus</i> capturadas en 5 lanchas durante agosto de 2005. La mayor proporción de la población se encuentra entre las longitudes abdominales de 16.5cm y 17.5cm..... | 76 |
| Figura 14 - Curva de selectividad de la pesquería de langosta de la RBBCh con una buena estimación de la simetría. Longitud media de primera captura (50%) = 11.101cm (LC) (4.26 años), Longitud de reclutamiento (tr.) de 8.84cm LC, cuya edad es 3.2 años. | 78 |
| Figura 15 -Longitud cefalotórax Lc (cm) en función de la edad en años (t) según $K= 0.2405 \text{ año}^{-1}$, $L_{\infty}=18.36\text{cm}$ y $t_0=0.45 \text{ años}$ | 78 |
| Figura 16 - Histograma de frecuencias de edad (t) de la población capturada de <i>Panulirus argus</i> con base en datos de la tasa de crecimiento..... | 79 |
| Figura 17 - Curva de longitud de la captura transformada a edad para los datos obtenidos en la pesquería en agosto de 2005. La ecuación responde a $N_t = 4.982 e^{-0.657 t}$ con un ajuste de $R^2 = 0.96$, con una $Z = 0.657$ | 79 |

| | |
|--|-----|
| Figura 18 - representación gráfica de los parámetros pesqueros (F, M, esfuerzo, captura); biológicos (k, longitud (L), peso (W), reclutamiento, ciclo de vida); ecológicos (migración de zonas profundas y someras) y económicos (costos de operación, ingreso, utilidades), que afectan la pesquería de la langosta <i>Panulirus argus</i> en la RBBCh..... | 81 |
| Figura 19 - Relación entre la biomasa del stock de <i>Panulirus argus</i> , los registros de captura, y captura simulada (ton) área gris = biomasa del stock, escala izquierda; líneas con puntos rellenos, número de reclutas (miles) escala izquierda; Círculos = datos de captura, escala derecha; líneas punteadas = captura simulada (escala derecha)..... | 82 |
| Figura 20 - Reconstrucción de datos históricos y 30 años de simulación de la captura y utilidades de la pesquería de langosta espinosa <i>Panulirus argus</i> en la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Captura: círculos negros escala izq; utilidades círculos abiertos escala derecha. | 83 |
| Figura 21-A) La captura potencial biológica máxima (YMSY) de <i>Panulirus argus</i> , en función de la edad de captura y la mortalidad por pesca. Corresponde a los últimos años de simulación, la captura máxima (31.6 ton) se logra obtener con la presión por pesca de $F=0.15$ y $t_c=3$ años. Este escenario aportaría una utilidad máxima de \$543,011. Sin embargo el máximo rendimiento económico, se podría obtener al reducir F a $FMEY = 0.1$ con \$592,846; en este momento la captura sería de $YMEY = 29.4$ t. B) Los indicadores de beneficios económicos potenciales (B/C), número de pescadores y número de barcos en función de la mortalidad por pesca. La edad de primera captura corresponde en este caso a 2 años; la respuesta de la pesquería cambia en función de ésta variable, aunque mantiene aproximadamente la misma tendencia. | 84 |
| Figura 22 - Captura potencial en función de la edad de primera captura (t_c) y la mortalidad por pesca (F) de la langosta <i>Panulirus argus</i> . Las capturas mayores ($Y>30$ t) se obtienen con $1>t_c<3$ y $0.05<F<0.3$ | 85 |
| Figura 23 - Las variables económicas (utilidades) de la pesquería de la langosta <i>Panulirus argus</i> en función de la mortalidad por pesca F y edad de primera captura t_c | 87 |
| Figura 24 - Las variables económicas Beneficio/costo de la pesquería de la langosta <i>Panulirus argus</i> en función de la mortalidad por pesca F y edad de primera captura y t_c | 88 |
| Figura 25 - Efecto de la mortalidad de pesca (F) y edad de primera captura (t_c), sobre el tamaño de flota (número de lanchas). El número máximo de lanchas que soporta la pesquería de langostas para mantenerse como actividad rentable es 35 lanchas con $F = 0.15$ y $t_c = 2$ y 1 años respectivamente..... | 88 |
| Figura 26 - Efectos de la intensidad de pesca (F) y edad de primera captura (t_c) de langosta, sobre el número de pescadores. El número máximo de pescadores que soporta la pesquería con una actividad rentable es 113 y 114 pescadores con $F = 0.15$ t $t_c = 2$ y 1 años respectivamente..... | 89 |
| Figura 27 – Diagnóstico histórico de la pesquería de langosta <i>Panulirus argus</i> . Las barras representan la captura y la línea punteada la tasa de explotación; para fines comparativos, la tasa de explotación (E) en el nivel de MSY se representa con la línea horizontal interrumpida..... | 90 |
| Figura 28 - Estructura de tallas de <i>Panulirus argus</i> capturadas en Banco Chinchorro. Se observan tallas más grandes hacia la zona sur que en la zona norte. La mayor proporción de la población se encuentra entre las longitudes abdominales de los 18cm y 19cm | 100 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 - Zonas y Subzonas de caracterización arrecifal de Banco Chinchorro. Con base en dichos criterios se clasificaron las localidades donde se realizaron los transectos (tomado de (Amigos de Sian Kaan 1997)..... | 22 |
| Tabla 2 - Clasificación del tipo de desarrollo en función de las zonas y altura de las estructuras que contienen..... | 25 |
| Tabla 3 - Se observan los 31 sitios (localidades) donde se efectuaron los transectos (promedio de longitud 151.2m) a diferentes profundidades, abarcando áreas con un promedio de 755.9m ² , y un rango desde 78m ² hasta 3300m ² . En cada localidad se registró el tipo de zona, desarrollo (BD=bien desarrollado, MD=muy desarrollado, PD=Poco desarrollado, sd = sin datos), y las características (FE= frontal exterior, FI= Frontal Interior, TB = Transición Barlovento, TI= terraza interior, CI= Cordillera Interior). (Los sitios 8 y 9 sd si presentan registros de densidad)..... | 28 |
| Tabla 4 - Ajuste de las medidas de longitud cefalotorácica originalmente medidas desde parte superior de cuerno rostral (mm)..... | 32 |
| Tabla 5 - Valores de parámetros poblacionales de la langosta <i>Panulirus argus</i> considerados para FISMO, (se incluyeron datos de captura). Los parámetros poblacionales incluyen parámetros de crecimiento (L_{∞} , W_{∞} K y t_0), los valores de potencia de “a” y “b” obtenidos de la regresión, edad de 1ª captura (t_c), y edad de primera madurez. L_{∞} , es tomada de (González-Cano 1991)..... | 39 |
| Tabla 6 - Datos de sitios ordenados de Menor a Mayor densidad de langosta, con tipo de desarrollo arrecifal BD=bien desarrollado, MD=muy desarrollado, PD=Poco desarrollado, sd = sin datos, y tipo de FE= frontal exterior, FI= Frontal Interior, TB = Transición Barlovento, TI= terraza interior, CI= Cordillera Interior, conforme a criterios de (Amigos de Sian Kaan 1997, INE-SEMARNAP 2000)..... | 47 |
| Tabla 7 - Estadística básica para los resultados de densidad (indha-1) de langosta por sitio..... | 48 |
| Tabla 8 - Frecuencias de densidad de langostas por sitio, a partir de la cual se construyen los cuartiles de densidad considerando percentiles del 25%. BAJA (hasta 6.7indha-1), MEDIA (hasta 76.5 indha-1) ALTA (hasta 160 indha-1) y MUY ALTA densidad (>160 indha-1)..... | 49 |
| Tabla 9 - categorías de densidad de langostas clasificadas por cuartiles, de acuerdo a su posicionamiento dentro de la tabla de frecuencias..... | 51 |
| Tabla 10 - Se presenta la densidad de langostas promedio calculada conforme a intervalos (0 a 15m, 15 a 40m) de profundidad estratificada, que agrupan sitios de todo el perímetro..... | 52 |
| Tabla 11 - Tabulación cruzada de densidad de langostas categorizada en cuartiles contra estratos de Profundidad someros <15m y profundos >15m. | 53 |
| Tabla 12 - Prueba de Chi-cuadrada densidad categorizada vs profundidad..... | 54 |
| Tabla 13 - Tabulación cruzada de densidad (indha-1) de langosta categorizada en cuartiles contra zonas fisiográficas..... | 55 |
| Tabla 14 - Prueba de Chi-cuadrada para asociación de zonas fisiográficas vs. densidad categorizada..... | 57 |
| Tabla 15 - Número de individuos avistados, ordenados por tallas, sexos y categorías de longitud cefalotorácica (LC)..... | 61 |
| Tabla 16 - Tabulación cruzada de estratos de profundidad (<15m y >15m) contra categoría de tallas de langostas. La categoría de tallas grandes se estructuró considerando adultos grandes (de 120mm a 160mm) y extra grandes (>160mm). La categoría $\geq 60\%$ implica que el número de individuos de tallas grandes avistados por sitio era mayor al 60%, y por lo contrario la categoría <60% implica que las tallas grandes no superan el 60% de la población avistada..... | 62 |
| Tabla 17 - Prueba de Chi-cuadrada para búsqueda de correlación entre la categoría de tallas grandes y densidad categorizada por cuartiles..... | 63 |
| Tabla 18 - Fuente de datos de langosta que se captura en Banco Chinchorro valor y volumen según la subdelegación de pesca en Chetumal. Se calculó el costo aproximado por kilo de los últimos 7 años volumen/ingreso..... | 70 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 19 – Se presenta el resumen del reporte de las capturas anuales (kg peso en colas) realizadas por las tres cooperativas de Banco Chinchorro, para el periodo de 1982 al 2004. | 71 |
| Tabla 20 - Comparación entre los datos obtenidos directamente de la SSCP langosteros del Caribe 2003-2004, Sociedad Cooperativa Producción Pesquera Pescadores de Banco Chinchorro 2003-2004y los obtenidos de la subdelegación de pesca de SAGARPA Chetumal para los mismos años..... | 73 |
| Tabla 21 - Esfuerzo de captura promedio por pescador Sociedad Cooperativa Producción Pesquera Langosteros del Caribe..... | 75 |
| Tabla 22 - Resumen de la estructura de tallas (longitud abdominal (cm), peso abdominal (g), longitud cefalotorácica (cm), peso cefalotorácico) y madurez sexual de las hembras de Panulirus argus revisadas en la captura de 4 jornadas de trabajo de lanchas de las cooperativas de Banco Chinchorro. La madurez sexual se infiere a partir de la cantidad de hembras con sedas largas (32.6%)..... | 76 |
| Tabla 23 - Resumen de la estructura de tallas (longitud abdominal (cm), peso abdominal (kg), longitud cefalotorácica (cm), peso cefalotorácico (kg), de los machos de Panulirus argus revisados en la captura de 4 viajes de trabajo de lanchas de las cooperativas de Banco Chinchorro. | 77 |
| Tabla 24 - Indicadores sociales de la pesquería de la langosta de Banco Chinchorro, México. Datos de la pesquería de la temporada 2004-2005, con referencia al número de pescadores y administradores que dependen de la pesquería de langosta. Los valores se expresan en dólares (USD). Los costos y beneficios se transformaron de pesos mexicanos (MN) a USD a una tasa de cambio \$10.8 pesos MN por dólar..... | 86 |
| Tabla 25 - Comparación de tres diferentes escenarios de aprovechamiento, cuyas variaciones se muestran con indicadores biológicos, económicos y sociales de la pesquería de la langosta en Banco Chinchorro, tomando como base las condiciones actuales de la temporada 2004-05. Los valores económicos se presentan en dólares (USD). Otros escenarios que se probaron fue el número máximo de pescadores, y de lanchas, pero ambas opciones resultaron igual que el FMSY. La edad de primera captura fue de 3 años en todos los casos. Los números en negritas muestran los valores más altos de los atributos que se comparan. FMSY = mortalidad por pesca en el punto de máximo rendimiento sostenible, BMAX = # máximo de lanchas que soporta la pesquería, NMAX= # máximo de pescadores que soporta la pesquería..... | 108 |

RESUMEN

La pesquería de la langosta *Panulirus argus* en Banco Chinchorro se caracteriza por una estabilidad en las capturas desde la década de los años 90 fluctuando alrededor de las 20t anuales de peso abdominal, e incluso aumentado en el 2004 hasta 30.9t. Las cooperativas pesqueras locales se han apegado a la normatividad respetando el periodo de veda, manteniendo como talla mínima de captura 13.5mm (LA), evitando capturar hembras ovígeras, y prohibiendo la pesca con buceo autónomo (SCUBA) lo cual limita la captura a 15 ò 20m superficiales. El presente estudio explora con el uso de transectos visuales y buceo SCUBA la variación en la distribución espacial, batimétrica y fisiográfica de la ocurrencia de la especie y de la densidad en el banco. Los resultados contribuirán a reconocer de qué manera dichos factores ecológicos y normativos pueden afectar en el manejo y la sostenibilidad de la población. La información pesquera se recopiló en campo a partir de la captura histórica y características de los organismos capturados. Ésta información permitió realizar un diagnóstico de la dinámica poblacional, y hacer simulaciones utilizando el modelo FISMO sobre posibles escenarios de estimación sobre la captura.

La densidad promedio en los transectos fue de $257.07 \text{ indha}^{-1}$ con una mediana de 76.5 indha^{-1} , valores que superaron otros registros del sector norte del Mar Caribe. La densidad promedio a profundidad de 15 a 20m alcanzó los valores más altos con $301.82 \text{ indha}^{-1}$, (desvn. std. 655.55) siendo un 20% mayor al promedio general y 38.3% mayor al promedio de la zona somera (<15m).

Por debajo de la zona límite de la captura por pesca (15m), se ubicaron el 87.5% del total de sitios que cayeron en la categoría de densidad muy alta ($>160 \text{ indha}^{-1}$) y el 100% de éstos que se encontraban en la zona oriental. La categoría de ‘tallas grandes’ ($>120 \text{ mm LC}$) representó $>60\%$ de la población en 11 de los 31 sitios los cuales se encontraron en su totalidad por debajo de 15m de profundidad. Por debajo de la profundidad límite de captura (15m) se encuentra el 87.72% de los individuos adultos ($>120 \text{ mm LC}$), mientras que los individuos ‘extra grandes’ ($>160 \text{ mm LC}$) ocurrieron exclusivamente por debajo de 20m, lo cual sugiere la ausencia de pesca. Estos resultados reconocen una segregación batimétrica en la explotación de la langosta. La zona occidental del área (sotavento central y sotavento) se caracteriza en un 66.6% por densidades bajas (6.7 indha^{-1}) lo cual es significativamente diferente a la zona oriental (ANOVA $p=0.005$), donde se ubican los sitios con la densidad mayor (>160 a 76.5 a 160 indha^{-1}). La densidad mayor también se asocia a zonas de sotavento y barlovento con estructuras arrecifales desarrolladas. El 62.79% de las hembras ovígeras observadas se reconoció por debajo de los 15m de profundidad representando una fracción importante de la población reproductiva.

Las comparaciones sobre la estructura de edades, y composición de las tallas con datos históricos permitió establecer en $F=0.29$ la mortalidad instantánea para agosto del 2005. El modelo de simulación (FISMO), reconoció una sobreexplotación de la langosta por la presión de pesca ejercida en zonas someras durante algunos años. Uno de los escenarios (prevé que la pesca puede ser más productiva si se incrementa el reclutamiento y el *stock* alcanzando valores de rendimiento máximo sostenible (MSY) similares a capturas de 1984 (67,448t), reduciendo la mortalidad por pesca en un 2.5% por año. Lo anterior equivale a recortar en una semana en la primer temporada de pesca, y reducir cantidades proporcionales en temporadas subsecuentes.

ABSTRACT

The *Panulirus argus* lobster fishery in Banco Chinchorro, has shown certain stability in its capture while fluctuating around 20 t during the 90s decade, and has recently increased up to 30.9 t in 2004. The fishing cooperatives comply with the fishing law by respecting the closed season, keeping a minimum capture size, avoiding ovigerous female capture, and prohibiting fishing by SCUBA diving, which limits exploitation to the surface 15-20m. With the aid of visual diving transects to survey the area, the present study explores bathymetrical, physiographic and spatial distribution that refers to the occurrence of the species. The results will contribute to recognize the ways in which the ecological factors and law compliance can affect population management and sustainability. Additional fieldwork was carried out to include size, age and sex of captured organisms, as well as historical yield information, which was processed to evaluate population dynamics and simulate different possible scenarios using FISMO modeling.

Transects showed an average density value of $257.07 \text{ indha}^{-1}$, and a median of 76.5 indha^{-1} , which surpass other reports for the Caribbean Sea. The 15-20m depth, presents the highest average density $301.82 \text{ indha}^{-1}$, (std. devn. 655.5) which is 20% higher than the general average and 38.3% higher than the surface depths (<15m).

Out of sites with high densities ($>160 \text{ indha}^{-1}$), 87.5% of the total, and 100% of the ones on the eastern side, were found below the depth where fishing capture is limited to (15m). Eleven out of the thirty one sites, were represented with $>60\%$ of the population sized ($>120 \text{ mm CL}$), and 100% of these sites were also found below the 15m depth. 87.72% of adult lobsters sized over $>120 \text{ mm}$ were found under the 15m depth, and lobsters of extra large size $>160 \text{ mm CL}$, were observed exclusively below 20m which suggests the absence of fishing. Such results recognize a bathymetric exploitation in lobsters. With a statistically significant difference in the density values (ANOVA $p=0.005$), 66.6% of the sites categorized as low density (6.7 indha^{-1}) are present on the western bank, while the eastern bank has 100% of the sites categorized with very high densities ($>160 \text{ indha}^{-1}$), and 75% of the sites categorized as high densities ($76.5 \text{ a } 160 \text{ indha}^{-1}$). In general terms if the site had structures classified as “well” and “very well” developed, it meant there would be higher densities of lobsters associated. Over 62.79% of the ovigerous females were observed below the 15m depth, representing a significant amount of the female reproductive population.

Lobster age structure and size composition were compared with historical reports, and allowed us to calculate an instant mortality rate of $F=0.29$ for August 2005. The population dynamics model (FISMO) suggests that there has been over fishing for some years in the surface zone which has lead to a slight overexploitation of the population. According to the model, the fishery could be more productive if the suggestions made to increase *stock* recruitment are taken into account, and the maximum sustainable yield could be obtained with a 2.5% yearly reduction in fishing mortality, which means shortening one week on the first fishing season and a proportional amount of time on the seasons yet to come.

1. INTRODUCCIÓN

La pesquería de langosta *Panulirus argus* en la zona del Caribe genera más de 40,000 empleos directos, cerca de 480,000 empleos indirectos, y en el estado de Quintana Roo constituye el recurso pesquero más importante en términos económicos (Lozano-Álvarez et al. 1993). Según los datos obtenidos en el presente estudio, durante el año 2004 en el estado de Quintana Roo se generaron 256.97 toneladas correspondientes en términos monetarios a 53,624,107 pesos MN, lo cual representa el 40.8% del ingreso total de la industria pesquera y comunitaria del estado. Banco Chinchorro ocupa uno de los primeros lugares en cuanto a la producción estatal, y la langosta representa el 71.6% del ingreso total de las tres cooperativas que proveen 98 empleos directos a los pescadores, más los cargos administrativos y los empleos de quienes se dedican a la comercialización como intermediarios.

En la comercialización de *P. argus*, parte de la problemática es que el mercado ha sido incapaz de incorporar información ambiental sobre las prácticas de extracción y procesamiento, no se considera el origen de procedencia del producto, ni se toman en cuenta los procesos sociales que sostienen su producción. Parece evidente que en el proceso de comercialización de langosta existe una falta de reconocimiento a las cooperativas que aprovechan este recurso manteniéndose apegados a la normatividad. Los precios de langosta y el valor asignado al producto final, tan solo reflejan parcialmente los costos de operación que están asociados a los costos de distribución, los impuestos gubernamentales o subsidios, el potencial de la langosta en su mercado respectivo y la abundancia de la especie en el mercado. Como en otras pesquerías, la responsabilidad en cuanto a las prácticas de manejo, los métodos de extracción y el costo del impacto ambiental, están ausentes en el mecanismo de determinación del precio (Pearse 1982).

La pesquería en Banco Chinchorro, se caracteriza porque las capturas muestran un estado aparentemente estable (20 t) desde hace una década. Las cooperativas pesqueras que ahí aprovechan la langosta están bien organizadas y se apegan a la normatividad al: a) no capturar durante el periodo de (del 1 de marzo al 30 junio), b) respetar una talla mínima de captura (135mm de Longitud abdominal), c) no capturar hembras ovígeras, y d) prohibir el uso de aire comprimido para pescar con buceo autónomo (SCUBA), lo cual limita la zona de captura a los 15m-20m de profundidad superficiales (González-Cano et al. 2000a, González-Cano et al. 2000b, INE-SEMARNAP 2000). Los esfuerzos de captura han sugerido que la mayor parte de la extracción proviene de los nuevos reclutamientos (Phillips y Chaffee 2000). Se cree que buena parte de los organismos adultos reproductivos se encuentran en profundidades mayores a las de la zona de captura (>15m), (Phillips y Chaffee 2000), lo cual puede afectar de manera particular la dinámica de la población ayudando a que ésta se sostenga, sin embargo esto no ha sido probado con estudios de campo. En lo anterior estriba la importancia del presente estudio que pretende observar si existen diferencias ecológicas de densidad y distribución de las langostas en los gradientes de profundidad y en las diferentes zonas fisiográficas que componen a Banco Chinchorro, así como realizar un análisis sobre el impacto que tiene la pesquería sobre el *stock* y la estructura poblacional.

El marco legal dentro del cual se tienen que insertar todas las prácticas pesqueras de la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro es el Plan de Manejo Pesquero de Langosta en la península de Yucatán (2003-2008), que norma la explotación de los recursos pesqueros en el Sector norte del Mar Caribe (México). Uno de los objetivos principales que plantea dicho Plan es “mantener el nivel de las capturas y reducir el nivel de esfuerzo” al “conocer la relación del *stock* entre áreas someras y profundas”. La importancia de este planteamiento reside en el reconocimiento de la estrecha relación entre las exigencias económicas y comerciales con las prioridades ecológicas de conservación de la especie en zonas explotadas. Como consecuencia resulta extremadamente relevante elaborar una estrategia para conocer dicha relación. Una opción estratégica podría basarse en la realización de estudios de marcado y recaptura que permitan evaluar patrones de movimiento y dependencia del *stock* de cada una de las zonas, donde algunos posibles indicadores a medir podrían ser tasas de migración en función de los sexos y edad; otra alternativa es aquella realizada en el presente estudio, donde con transectos en el campo se llevó a cabo una prospección para analizar directamente la correspondencia entre densidad de langostas y la profundidad, buscando la relación entre áreas someras y profundas.

Dentro de los complejos procesos que involucran el manejo y la conservación de recursos pesqueros el papel de asesoría científica ha sido muy aceptado (Sosa-Cordero 2003, Puga et al. 2005), pero en la práctica la selección de un modelo depende de las características del recurso, los datos disponibles, la concordancia entre lo que el modelo plantea y las condiciones que permanecen en la pesquería, así como las escalas de tiempo y espacio que son consideradas y no tanto de las informaciones proporcionadas a raíz de investigaciones específicas. La veracidad de cualquier modelo simple o complejo que sea planteado en Banco Chinchorro dependerá de la información fragmentada que ha sido recopilada de diferentes fuentes y de los datos de campo que puedan ser validados por estudios como el presente.

La evaluación de pesquerías tropicales en general es problemática, debido a que se sabe poco de los parámetros poblacionales de los *stocks*, aun cuando existen evidencias de decaimiento de las capturas o de la abundancia de la población. La dinámica poblacional de la langosta espinosa *Panulirus argus* de Banco Chinchorro presenta retos tanto en el campo teórico como en el práctico, dado el ciclo de vida tan complejo de la especie. Ejemplo de las diferencias teóricas en los planteamientos es que algunos autores hablan una población abierta a nivel local, con reclutas que provienen principalmente de otras localidades que aportan larvas por medio de las corrientes (Caley 1996, Sosa-Cordero 2003), mientras que otros autores indican que podría definirse como un sistema semi-cerrado (González-Cano et al. 2000a, González-Cano et al. 2000b). Se entiende que la razón más importante para llevar a cabo una evaluación de un *stock* es la de ser capaces de evaluar las consecuencias de diferentes acciones de manejo (Ej.: llevar a cabo un análisis de decisiones). Siendo así normalmente se tienen hipótesis acerca de la dinámica y el estado de la pesquería y las consecuencias de las acciones de manejo pueden diferir dependiendo de qué hipótesis sea verdadera.

El definir la unidad del *stock* es de las tareas principales para iniciar la evaluación de cualquier pesquería o sistema de manejo. Lo ideal es que al recurso escogido para la evaluación se le pueda aplicar la definición rigurosa de *stock*, en la cual se considera que: no existe inmigración ni emigración, por lo que deberá estar efectivamente aislada

genéticamente de otras poblaciones, sin embargo cabe mencionar que algunos autores consideran que la especie *Panulirus argus* se comporta con una dinámica de metapoblación (González-Cano et al. 2001), por lo que no se encuentra aislada genéticamente de otras poblaciones. Pragmáticamente podríamos definir al *stock* de Banco Chinchorro con base en FAO (FAO 2001a) como “la unidad de manejo y pesca de una subpoblación auto-sostenible, espacialmente definida y funcionalmente independiente”, pero es probable que en Banco Chinchorro la langosta sea considerada una población semiabierta y que dependa en parte de reclutamientos que provienen de áreas aledañas, aunque no ha existido una evaluación del *stock* total de la población de la península de Yucatán y del Caribe que lo haya probado. Aparentemente la sobre-explotación de otras pesquerías de la región tampoco han provocado efectos negativos sobre el *stock* total de Banco Chinchorro, por lo que es probable que se presente también un autoreclutamiento larval en la población, como en otras áreas pequeñas del Mar Caribe (Phillips y Chaffee 2000). Una evaluación completa de la pesquería de *Panulirus argus* en Banco Chinchorro, debería pensar en analizar el *stock* total de la población y realizar más estudios de colecta y monitoreo de juveniles como los hechos entre 1987 y 1992 en Bahía de la Ascensión (Lozano-Álvarez 1992), donde se mostraron niveles relativamente constantes de asentamiento larval. Sin embargo, para fines del presente estudio consideraremos a Banco Chinchorro como una unidad de Manejo y Conservación Ecoregional (Romero 2001), lo cual permite evaluar a la pesquería fundamentalmente considerando los datos históricos de la captura y el esfuerzo pesquero anual de las cooperativas locales.

Entre los principales problemas que aquejan a la pesquería de langosta en ésta región se encuentra, la gran incertidumbre en las abundancias y la tendencia decreciente de la población por efecto de la pesca. Se requiere saber el comportamiento que ha tenido la serie de las capturas, los factores que han influido para ello, así como las recomendaciones para su manejo a futuro. Las evaluaciones y estudios deben actualizarse y validarse constantemente para ser efectivas en el manejo de la pesquería. Bajo ésta lógica en el presente estudio se aplicó el modelo de simulación (FISMO), (Chávez 2005) con la finalidad de encontrar posibles respuestas a las siguientes preguntas:

¿Cuál es el estado del *stock* de la langosta en Banco Chinchorro México?, dado el declive reciente en la captura ¿cómo puede restaurarse el *stock*? ¿Cual es la edad de primera captura que traerá los mayores beneficios (sociales, en biomasa e ingresos)? ¿Son aplicables los niveles óptimos de explotación sugeridos? ¿Cuales son las intensidades de pesca económicas y biológicas óptimas? Para buscar respuestas a dichas preguntas, la meta de la elaboración del modelo dentro del presente estudio fue evaluar el *stock*, obtener un diagnóstico de la pesquería de Banco Chinchorro y buscar las estrategias biológicas, económicas y sociales óptimas para aconsejar de manera informada a los beneficiarios y autoridades sobre cómo realizar una explotación más eficiente y sostenible en el largo plazo.

2. ANTECEDENTES

2.1 Características de la especie

| Reino | Phylum /división | Clase | Orden | Familia | Género | Especie |
|----------|------------------|--------------|----------|-------------|------------------|--------------|
| Animalia | Artropoda | Malacostraca | Decapoda | Palinuridae | <i>Panulirus</i> | <i>argus</i> |

Panulirus argus tiene un ciclo de vida largo y complejo (Briones-Fourzán et al. 1997). La distribución de la especie va desde el norte de Bermuda y Carolina del Norte en los Estados Unidos hasta Sudamérica en Rio de Janeiro en Brasil. En dirección Este-Oeste va desde el Golfo de México hasta las islas Antillas (FAO 2001b). Los machos y las hembras se aparean en hábitats arrecifales y posteriormente las hembras se desplazan hacia áreas más profundas a incubar los huevecillos y liberar las larvas llamadas filosomas; éstas son de forma aplanada transparentes y planctónicas, y pasan por once estadios definidos de desarrollo en un tiempo que se ha estimado entre 6 y 11 meses (Olsen et al. 1975), tiempo en el cual son ampliamente dispersadas por las corrientes marinas. El undécimo estadio de filosoma sufre una metamorfosis hacia postlarva denominada puerulo, la cual, aunque sigue siendo transparente, presenta ya la forma típica de la langosta, pero con algunas adaptaciones para la vida pelágica. El puerulo retorna a las zonas costeras, donde se asienta en hábitats de vegetación sumergida y adopta hábitos bentónicos. El puerulo a través de varias mudas, va adquiriendo una coloración críptica que le confiere protección contra depredadores. Posteriormente, los juveniles desarrollan hábitos gregarios y van cambiando de hábitat conforme se acercan a la madurez sexual. Es muy probable que existan mecanismos de retención de las larvas de ésta especie en la región del Caribe en las zonas donde se originaron, sin embargo, un estudio que permita concluir al respecto, aún no se ha elaborado (Lozano-Álvarez 1994, Stockhausen et al. 2000).

Juveniles y adultos: Los juveniles de *P. argus* se encuentran principalmente en zonas someras de (<10m) tales como bahías o lagunas arrecifales, cubiertas de vegetación sumergida, mientras que los adultos ocupan una gran diversidad de hábitats, desde las zonas donde habitan los juveniles hasta arrecifes coralinos o rocosos profundos (hasta 90m). En México se encuentran desde zonas sublitorales hasta 60m (Lozano-Álvarez y Negrete-Soto 1991), aunque existen reportes de avistamientos filmados a 128m (comp. pers. Sustainable seas expeditions NOAA National Geographic en Quintana Roo, Claudia Padilla), y en Quintana Roo se encuentran a lo largo de toda la costa, donde existen formaciones arrecifales. Como el resto de los crustáceos, para crecer requieren mudar el exoesqueleto. La frecuencia de muda es mayor en los primeros años, y aunque no se ha podido determinar la longevidad de las langostas de ésta especie, es posible encontrar individuos de 14 años entre las capturas. Además, estudios realizados en la zona norte de

Quintana Roo muestran que *P. argus* alcanza la primera madurez sexual a los 13.6cm de longitud abdominal (LA), equivalente a los 3.2 años (González-Cano 1991).

La langosta espinosa presenta dimorfismo sexual (se explica en detalle en sección de metodología) y los machos alcanzan mayores longitudes y peso que las hembras. En las muestras globales se aprecia que la proporción sexual es cercana a 1:1; sin embargo se ha observado que ésta varía a lo largo del año y también en relación con la profundidad, debido probablemente a cambios de hábitat relacionados con la búsqueda de refugio, alimento y la reproducción. (Briones-Fourzán et al. 1997).

2.2 Pesquería y modelos

En general en el Caribe, las capturas de crustáceos, escama y caracol han disminuido desde los años sesenta al presente y se considera que dichos declives se deben a una sobreexplotación de los recursos. Con miras a mejorar el manejo de los *stocks* de dichos recursos, las autoridades pesqueras han planteado el objetivo de su aprovechamiento racional para buscar maximizar la obtención de beneficios a largo plazo. Así, desde 1967 se han desarrollado la serie de regulaciones para la actividad pesquera de la langosta en México (Lozano-Álvarez 1994). La efectividad de dichas regulaciones ha sido evaluada con estudios científicos sobre los registros de captura de las pesquerías comerciales, ya que históricamente han sido las principales fuentes de información disponibles para determinar las dinámicas temporales y espaciales de las poblaciones de langosta explotadas.

Previamente se han realizado revisiones históricas de la pesquería de la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro (González-Cano et al. 2001, Sosa-Cordero 2003), para detectar tendencias en la dinámica de la población de langosta y su nivel de abundancia. Utilizando información como captura por unidad de esfuerzo, tamaño y estructura de edades, se han generado modelos de decaimiento para temporadas múltiples, modelos estructurados por edades y modelos dinámicos de la biomasa que han sido ajustados a datos locales de captura por unidad de esfuerzo CPUE. Los estudios muestran que la mortalidad por pesca (F) estimada tiene un efecto sustancial sobre la estructura de la población. Debido a las variaciones en la estimación del reclutamiento, el número de muertes anuales, el número de individuos en el *stock* y la biomasa muestran un patrón proporcional.

Según el modelo elaborado por el INP y el CRIP Puerto Morelos (González-Cano et al. 2001) la edad promedio de los individuos se mantuvo a los 5 años y se observó estable en el periodo examinado con excepción de los años 1968, 1960, 1970, 1984 en donde se observó un incremento a los 6 años en la edad de captura máxima. Lo anterior es particularmente importante pues permite suponer que existe un reclutamiento de individuos adultos provenientes de otras áreas (como por ejemplo las profundidades >15m). Esto puede afectar la imagen de la población de tal forma que no se manifieste una reducción de la edad promedio en la captura y por lo tanto no se refleje una sobre pesca. Se estimó que en 1998 el número de individuos del *stock* se encontraba en un 15% del número estimado para el inicio de la pesquería (1956) y un 59% por debajo del máximo pico de 1978. Se pudo constatar que la pesquería de langosta en la RBBCH deberá ser manejada cuidadosamente para no llegar a un estado de sobre-explotación. Algunas conclusiones de

los mencionados autores son que idealmente los modelos de simulación deberían de incorporar la tasa de movimiento de las langostas de zonas profundas a someras así como los movimientos de diversas regiones hacia zonas en donde se desarrolla la pesquería. Dichas tasas de movimiento podrían ser potencialmente incorporadas como dependientes de la estructura de edades (o estadios de desarrollo) de la población. Sin embargo en ausencia de parámetros para describir la tasa de movimiento de las langostas entre regiones, así como de entre zonas profundas y someras, se consideró que la pesquería está teniendo acceso a solo una fracción de la población.

La publicación más reciente que ha evaluado el estado de la pesquería de *Panulirus argus* en Banco Chinchorro (Sosa-Cordero 2003) reporta que desde 1982 cuando se registró una captura de 180t (peso completo), las capturas anuales se habían reducido de manera constante hasta llegar a 44 t en 1991, promediando una reducción de 15t por año y han mantenido cierta estabilidad en cerca de las 51t, (promedio de 1992-1999). Tomando como base la relación entre producción y reclutas (Y/R) contra la tasa de explotación (E), este estudio concluye que la pesquería estaba operando cerca de su óptimo. Se recomendó que se evitara cualquier incremento en el esfuerzo pesquero (lanchas, pescadores y recorridos) y en la mortalidad por pesca (F) que fluctuó entre $F= 0.3-0.38$.

3. OBJETIVOS

Objetivo General: Evaluar el manejo e impacto de la pesquería sobre la población de *Panulirus argus* en la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro, utilizando las observaciones ecológicas de campo y los datos de captura de las cooperativas como herramientas de análisis.

I.- Estimación de la densidad y distribución de *Panulirus argus* por medio de la observación con transectos.

- i) Analizar si existen diferencias en la distribución, densidad y estructura de tallas de *Panulirus argus* en función de un gradiente de profundidad, considerando que los 15m marcan la zona límite de captura por pesca con buceo libre, que es el arte de pesca autorizado.
- ii) Analizar si existen diferencias en la distribución, densidad y estructura de tallas de las langostas en función de los diferentes tipos de zonas fisiográficas que se presentan dentro de la RBBCh.

II.-Observaciones en campo de capturas y datos pesqueros

- i) Describir y analizar a los diferentes actores y beneficiarios involucrados en el aprovechamiento manejo y comercialización de la langosta *Panulirus argus* dentro de la RBBCh.
- ii) Recopilar y analizar tendencias de los datos de la captura histórica y la captura actual.
- iii) Con base en la captura registrada en campo en el 2005 calcular la proporción de tallas, la composición por edades y calcular las mortalidades natural y por pesca a través del análisis de frecuencias de tallas.
- iv) Revisar y elaborar un modelo de análisis bio-económico y de dinámica de la población de *Panulirus argus* en la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro, con base en datos de campo, bibliográficos y análisis de bitácoras pesqueras.

4. HIPÓTESIS

Fundamento teórico: La literatura y la experiencia en campo han probado que la pesca en la RBBCh se encuentra limitada por la profundidad a los 15m superficiales, dado que la normatividad prohíbe el uso de aire comprimido para pesca (González-Cano et al. 2000a, INE-SEMARNAP 2000). Existen reportes que sugieren que la mayor parte de la extracción de los nuevos reclutamientos provienen de otras áreas y que buena parte de los organismos adultos reproductivos se encuentran en profundidades mayores a la zona de captura (<15m) (Phillips y Chaffee 2000), probablemente debido a cambios en las necesidades de hábitat relacionados con la búsqueda de refugio, alimento y por la reproducción (Briones-Fourzán et al. 1997). Bajo el razonamiento de que tanto la mortalidad por pesca, como la ecología y biología propias de *Panulirus argus* serán factores que determinarán la distribución de las langostas en función de la profundidad y fisiografía de las diferentes zonas donde se encuentren, consideramos que dichos factores deberán promover las relaciones planteadas en las hipótesis siguientes.

HI.1: En la RBBCh existe una relación positiva entre la densidad (indha^{-1}) de langostas y el gradiente de profundidad.

HI.2: En la RBBCh, la mayor densidad de langostas adultas reproductivas de *Panulirus argus* (>120mm LC) se asocia a los estratos de profundidad por debajo de los 15m.

HI.3: Existe una asociación positiva entre la densidad de langostas y las zonas de clasificación del hábitat.

HI.4: La pesquería se encuentra operando cerca de su máxima capacidad productiva, por lo que la mortalidad por pesca no debe aumentar.

5. ÁREA DE ESTUDIO

La Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro (RBBCh) tiene una superficie de 144,360ha, que incluyen formaciones arrecifales, a laguna arrecifal, Cayo Lobos, Cayo Centro Cayo Norte y las aguas oceánicas adyacentes. Es un complejo arrecifal coralino clasificado como falso atolón (Darwin 1842), atolón (Jordán y Martín 1987) o arrecife de plataforma (Chávez et al. 1985.). Se localiza al este de la costa del Municipio de Otón Pompeyo Blanco, en el Estado de Quintana Roo. Al Norte de las Islas Turneffe y del arrecife Lighthouse de Belice.

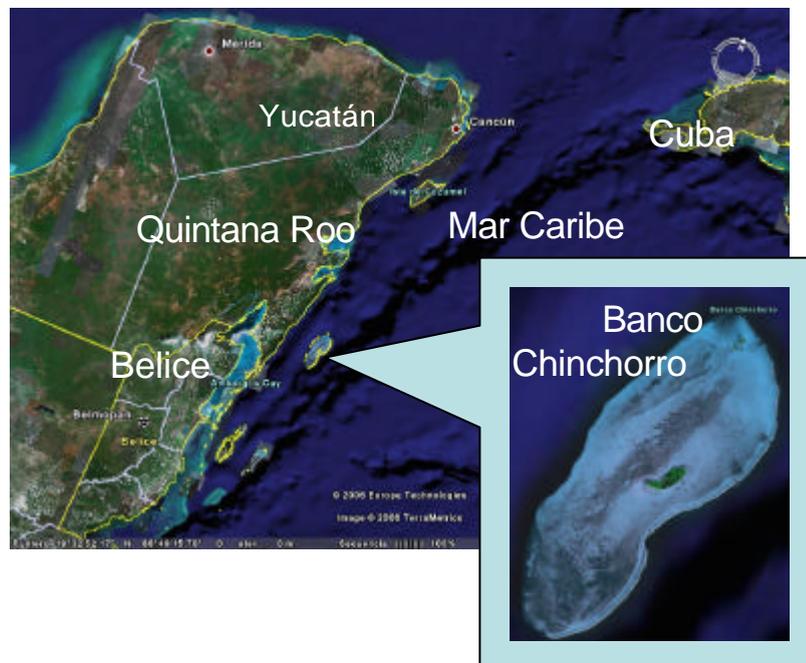


Figura 1- Mapa de Banco Chinchorro y el Caribe

Se encuentra en mar abierto a 30.8 Km. del poblado costero de Mahahual, que es el punto más cercano y está separado de la costa por un canal de 1,000 m de profundidad (UNEP/UICN, 1988). Las coordenadas geográficas que la delimitan son: 18°48'44.24" N, 87°28'28.27" W; 18°48'46.03" N, 87°12'01.85" W; 18°21'39.10" N, 87°11'59.95" W; 18°21'37.36" N, 87°28'23.77" W.

Banco Chinchorro es una de las estructuras más grandes de su tipo en la cuenca del Caribe y la mayor en México (Jordán y Martín 1987). Por su ubicación en el Sector Norte del Mar Caribe forma parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano. El arrecife tiene forma elíptica irregular, el eje longitudinal es de 43.26Km. y su eje transversal es de 18.03Km. en su parte más ancha. Está rodeado en su totalidad por una barrera de 115Km de perímetro (Jordán y Martín 1987). El eje mayor está orientado de Norte a Sur en forma paralela a la costa de Quintana Roo. La laguna arrecifal de aproximadamente 53,379 ha, es somera con variaciones de profundidad que disminuye en dirección norte-sur. La mitad sur se caracteriza por numerosos parches y cordilleras coralinas interiores. Algunas cordilleras alcanzan 3Km de longitud y son paralelas al margen oriental del Banco. En la mitad norte no hay cordilleras y los parches se localizan principalmente en el centro de la laguna.

En la laguna existen cuatro cayos que abarcan 581.9 ha de la superficie total de la Reserva, de ésta superficie 435.16 ha son de tierras emergidas y 146.75 ha son lagunas interiores. En el extremo norte se encuentra Cayo Norte, integrado por dos cayos con una superficie total de 40.09 ha en los que se encuentra principalmente vegetación arbórea y manglar; Cayo Centro, localizado hacia el centro del sistema y cerca del margen oriental, es el más grande con 541.4 ha, cubiertas por manglar, palmas y vegetación arbórea. El cuarto cayo, localizado al extremo sur, es Cayo Lobos, es el más pequeño con 0.42 ha; está cubierto parcialmente por vegetación arbustiva, rastrera y cinco palmas de coco. El cayo está constituido por arena gruesa de pedacera de coral y algas calcáreas.

Banco Chinchorro es un sistema arrecifal único en México y sumamente complejo, el cual ecológicamente representa un ecosistema con gran heterogeneidad de hábitats debido a su topografía coralina, la topografía submarina irregular, la orientación relativa con relación a la influencia de las corrientes costeras, la marea y el oleaje.

En cuanto a la hidrodinámica de las corrientes en la RBBCh, en la porción inmediata a la línea de costa existen giros alargados o contracorrientes locales que se establecen por influencia de la fuerte corriente hacia el norte y la topografía de la costa. El encuentro de la corriente con las puntas o zonas que interfieren el flujo puede ocasionar acumulación de agua en estas localidades, la cual, limitada por el margen continental tendería a fluir hacia el Sur. Lo anterior, aunado a la presencia de zonas cóncavas inmediatas hacia el Norte de las puntas y ensenadas, en donde el fuerte flujo paralelo a la costa puede originar gradientes negativos de presión, completa la formación de giros entre puntas consecutivas. La presencia de esos giros, así como su intensidad y extensión, varían fuertemente con el tiempo, posiblemente por causa de los efectos del viento y las mareas (Merino 1986). Particularmente en Banco Chinchorro existen contracorrientes que se presentan repetidamente y con fuerte intensidad en la zona Oriental y Occidental del antearrecife (Jordán y Martín 1987)

6. METODOLOGÍA

Definiciones y conceptos

DENSIDAD: número de individuos por unidad de área reportado como individuos por hectárea (indha^{-1}).

TRANSECTO: con un ancho fijo de 5m y una longitud variable, se realizó un conteo lineal de número de individuos. Cada transecto reporta un área (m^2) de muestreo específica, y un valor de densidad de individuos por metro cuadrado (indm^2) correspondiente. El valor resultante se transformó a número de individuos por hectárea (indha^{-1}).

SITIO: localidad con una latitud y longitud de posicionamiento específica. En cada sitio se realizó un transecto, con un área de cobertura específica, por lo que corresponde un valor de densidad (indha^{-1}). Para cada sitio corresponde también un valor de profundidad, una categoría de zona y una categoría de tipo de desarrollo del arrecife.

ZONA: Extensión de área cuyas características fisiográficas son particulares en cuanto a la profundidad, la composición de especies, el tipo de desarrollo arrecifal y el tipo de sedimento que presenta.

6.1 Trabajo de campo: estimación de la densidad y distribución de *Panulirus argus* por medio de la observación con transectos.

Los conteos visuales de langostas sobre transectos lineales han probado ser un método efectivo para estimar densidad de langostas, además de permitir observar la variación entre los hábitats y las áreas donde éstas habitan. (Pitcher et al. 1992). Durante el mes de mayo del 2005 en el arrecife de la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro (RBBCh), se realizaron treinta y un transectos con buceo autónomo (SCUBA), con el fin de observar patrones de densidad, distribución de tallas y sexos de las langostas.

Para tener un referente espacial que permitiera observar la variación en densidad de langostas para las diferentes zonas fisiográficas (hábitats), se procuró ubicar los sitios para la realización de los transectos en las zonas oriental, occidental, sur y norte alrededor del perímetro y la laguna del banco. Asimismo, se muestrearon sitios con zonas profundas ($>15\text{m}$) y someras ($<15\text{m}$), buscando patrones que mostraran diferencias en el gradiente de profundidad.

6.1.1 Prospección previa de las localidades de muestreo (sitio):

La recolecta de datos sobre observaciones directas se definió con base en una visita prospectiva realizada durante el mes de abril en la cual se visitó la RBBCh para definir las localidades donde podrían efectuarse los buceos. Para ubicar (latitud/longitud) los posibles sitios de observación y obtener una relación cartográfica de las profundidades, patrones generales y particulares de la RBBCh, se tomó como base el mapa generado por un estudio reciente de caracterización batimétrica que utilizó dos métodos complementarios de percepción a) la ecosonda para zonas profundas y b) imágenes de satélite del Landsat-MSS para las zonas someras (González et al. 2003). Además de las características geomorfológicas, hubo que considerar factores que podrían ser limitantes para la realización del trabajo por buceo, como fue el escoger sitios no excesivamente profundos para buceos de investigación (>38m) y el conocimiento de las zonas de corrientes que no impidieran realizar los transectos. La profundidad límite de captura (15m) constituyó el criterio principal para segregar los sitios en los dos estratos de profundidad: 1) *profundo* (15m a 38m) y 2) *somero* (5m a 14m).

6.1.2 Zonación

Como una meta inicial fue el realizar transectos representativos de las diferentes zonas fisiográficas, se tomó como referencia las características propias de desarrollo arrecifal y abundancia de corales que reporta el mapa de caracterización arrecifal realizado por la A.C. Amigos de Sian Kaan (Amigos de Sian Kaan 1997, INE-SEMARNAP 2000), donde las zonas de la laguna arrecifal y las zonas definidas en las pendientes oriental/occidental, se dividen de acuerdo a regiones y zonaciones que se clasifican como: P – Pendiente, CAC – Cordillera con alta cobertura, FP – Frontal profundo, CE – Cordillera exterior, CBC – Cordillera con baja cobertura, FE – Frontal exterior, TE – Terraza exterior, CaP – Cabezos profundos, FI – Frontal interior, CI – Cordillera interior, CaS – Cabezos someros, TB – Transición oriental, TI – Terraza interior, GE – Gorgonáceos y esponjas, RO – Rompiente arrecifal, TS – Transición occidental, P – Arrenal con parches, PO – Arrecife posterior y ANI – Anillo arrecifal. Dichas clasificaciones fueron útiles para poder seleccionar las localidades para realizar los transectos representativos del área y tomar anotaciones en el campo al realizar estos. Las características más importantes de dicha zonación se resumen en la Tabla 1:

Tabla 1 - Zonas y Subzonas de caracterización arrecifal de Banco Chinchorro. Con base en dichos criterios se clasificaron las localidades donde se realizaron los transectos (tomado de (Amigos de Sian Kaan 1997).

| Zona | Subzona | Características |
|------------------|--|--|
| Sotavento | Cordillera exterior (CE) | Macizos coralinos de poca altura, esponjas masivas y tubulares con distribución variada. Corales como discos, gorgonáceos de profundidad. Sedimento muy fino. Caracol. Profundidad de 23 a 32 m. |
| | Terraza Exterior (TE) | Arenal con colonias dispersas de gorgonáceos y esponjas. Profundidad de 20 a 23 m. |
| | Cordillera Interior (CI) | Macizos coralinos dispersos de poca altura y anchos, denominados por gorgonáceos y esponjas incrustantes, vasiformes y tubulares. Corales como discos, <i>Agaricia lamarcki</i> , <i>A grahamae</i> y antipatario s. Sedimento fino. Caracol. Profundidad de 13 a 20m. |
| | Terraza Interior (TI) | Profundidad de 3 a 12 m. Cabezos coralinos aislados ordenados como macizos anchos. Canales de arena amplios con colonias aisladas de gorgonáceos y esponjas. Sedimento muy fino. Presencia de caracol. |
| | Transición Sotavento (TS) | Macizos dispersos de <i>Montastrea annularis</i> y <i>M. Faveolata</i> con esponjas, algas y gorgonáceos. Sedimento fino con algas cianofitas. Profundidad de 3 a 9 m. |
| | Anillo (ANI) | Delimitado por matrices de <i>Acropora palmata</i> con <i>Porites porites</i> en la cima y gorgonáceos en la base. Parches pequeños de <i>Acropora cervicornis</i> en la parte más somera. Profundidad de 0 a 3 m. |
| Laguna arrecifal | Macizos continuos o dispersos de <i>Montastrea annularis</i> y <i>M. Faveolata</i> , rodeados de bancos de arena. En la cima tapetes de <i>Porites porites</i> , gorgonáceos y algas cafés. Gran cobertura de coral, peces, corales de profundidad en ambientes crípticos (<i>Mycetophyllia</i> y <i>Scoliemya</i>). Profundidad de 1.5 a 6 m o cabezos coralinos dispersos, parches de pastos marinos, algas, gorgonáceos y esponjas tubulares y rastreras. Profundidad de 1.5 a 3.5 m. | |
| | Arrecife Posterior (PO) | Cabezos medianos de <i>Montastrea annularis</i> y <i>Diploria clivosa</i> hacia la laguna arrecifal, <i>Acropora Palmata</i> y <i>Acropora cervicornis</i> en la parte centro y <i>A. Palmata</i> y <i>Agaricia tenuifolia</i> hacia la rompiente. Especies de <i>Porites</i> y <i>Millepora</i> ; algas, pedacería y arena media. Profundidad de 0 a 2 m. |

| | | |
|------------------|----------------------------|--|
| Cresta arrecifal | Rompiente Arrecifal (RO) | Matriz calcárea de <i>Acropora palmata</i> , hidrocorales pétreos, crecimientos aislados de <i>A. Palmata</i> . Colonias pequeñas de <i>Porites astreoides</i> y <i>Agaricia tenuifolia</i> . Algas y pedacería gruesa. Profundidad de 0 a 1 m. |
| | Transición Barlovento (TB) | Canales de arena y macizos calcáreos de <i>Acropora palmata</i> bien desarrollados, denominados <i>Gorgonia flabellum</i> , <i>Millepora complanata</i> , <i>Porites astreoides</i> y <i>Agaricia tenuifolia</i> ; o subzona poco desarrollada con laja calcárea, pedacería y algas cañas abundantes (<i>Sargassum</i> y <i>Turbinaria</i>). Profundidad de 3 a 12m. |
| Arrecife frontal | Frontal Interior (FI) | Canales de arena amplios y macizos delgados e incipientes de 1 a 2 m de altura, con gorgonáceos, algas y cabezos aislados de escleractíneos. Colonias aisladas de <i>Acropora palmata</i> y <i>Montastrea annularis</i> hacia la transición de barlovento y hacia la pendiente de colonias de escleractíneos pequeñas e incrustantes. Profundidad de 15 a 18m. |
| | Frontal exterior (FE) | Canales de arena angostos con gorgonáceos y esponjas masivas. Macizos gruesos de hasta 5 m de altura, con gorgonáceos esponjas grandes y colonias de escleractíneos pequeñas e incrustantes. Profundidad de 24 a 36 m. |
| | Terraza | Parches de escleractíneos, gorgonáceos de profundidad y esponjas masivas. Profundidad de 43 a 52 m. |
| | Frontal Profundo | No hay sistema de canales y macizos. Algas, colonias de corales escleractíneos aislados, gorgonáceos de profundidad, antipatarios y esponjas masivas. Profundidad de 52 a 58m. |
| | Cantil | Colonias de escleractíneos incrustantes (como discos) antipatarios, esponjas masivas y gorgonáceos de profundidad. Profundidad mayor a 58 m. |

La Figura 2 ilustra el perfil de la zonación determinada conforme a la caracterización arrecifal, que fue considerada como base para la clasificación de tipos de hábitat en el presente estudio.

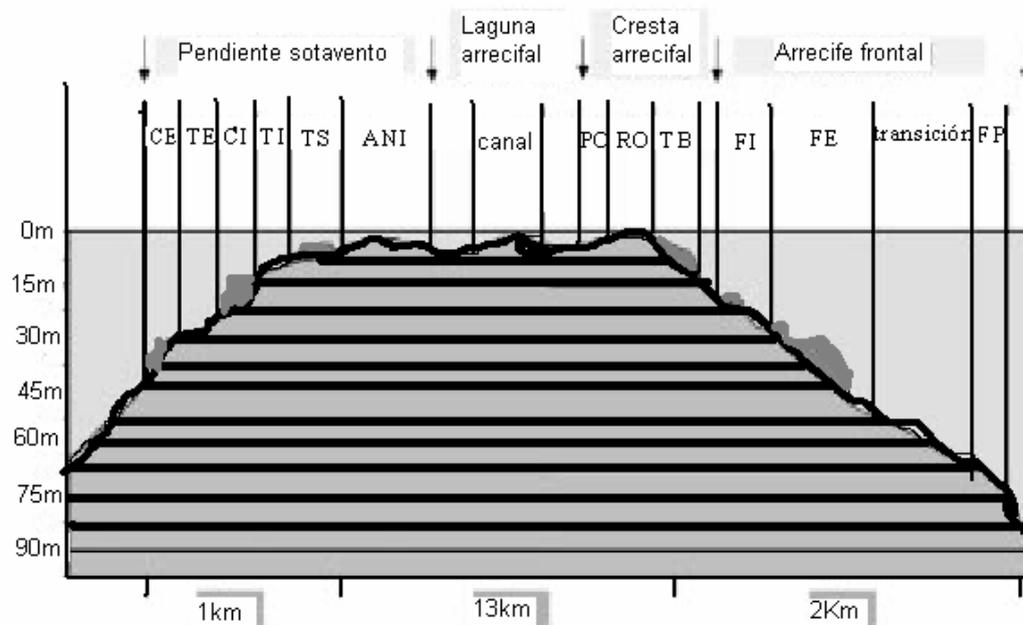


Figura 2 - Perfil transversal mostrando zonas de caracterización de los arrecifes de Banco Chinchorro realizada por Amigos de Sian Ka'an, A.C. (Amigos de Sian Kaan 1997, INE-SEMARNAP 2000). Se presentan las zonas y subzonas arrecifales. CE = Cordillera exterior ; TE = Terraza exterior ; CI = Cordillera interior TI = Terraza interior; TS = Transición sotavento; ANI = Anillo; PO = Arrecife posterior ; RO = Rompiente arrecifal; TB = Transición barlovento; FI = Frontal interior; FE = Frontal exterior y FP = Frontal profundo.

En el caso de las pendientes, el grado de desarrollo arrecifal se ha sido calificado de acuerdo a la altura de las estructuras arrecifales por zona, (Amigos de Sian Kaan 1997, INE-SEMARNAP 2000), por lo que se tomaron los mismos criterios en el campo considerando las características descritas en la Tabla 2.

Tabla 2 - Clasificación del tipo de desarrollo en función de las zonas y altura de las estructuras que contienen.

| | | |
|---|-------------------------|--|
| Zonas externas frontal y cordillera exterior | (MD) muy desarrollados | estructuras con más de 7 m de altura sobre el fondo |
| | (BD) bien desarrollada | estructuras con 3 a 7 m de altura |
| | (PD) poco desarrolladas | estructuras arrecifales con menos de 3 m de altura |
| Frontal interior, cordillera y terracea interior, | (MD) muy desarrollados | con más de 3 m de altura |
| | (BD) bien desarrollada | entre 1 y 3 m de altura |
| | (PD) poco desarrolladas | con menos de 1 m de altura |
| Zonas de transición en los bordes oriental y occidental | (MD) muy desarrollados | estructuras con más de 1.5 m de altura |
| | (BD) bien desarrollada | 0.5 a menos de 1.5 m de altura |
| | (PD) poco desarrolladas | pseudomacizos con laja calcárea y corales gorgonáceos con colonias de corales escleractineos dispersas |
| Rompiente arrecifal | (MD) muy desarrollados | forma una barrera continua con eventuales interrupciones llamadas “quebrados” o “bocanas”, |
| | (BD) bien desarrollada | cuando presenta varios quebrados |
| | (PD) poco desarrolladas | forma de estructuras dispersas |

6.1.3 Delimitación de zonas de estudio

Para las observaciones directas en el arrecife se contó con el apoyo del equipo de la Reserva durante el mes de mayo, con cuatro días por semana para trabajar en campo, por lo que hubo que optimizar el tiempo invertido. La complejidad del arrecife en el Banco Chinchorro obligó a delimitar el número de zonas y subzonas posibles de estudiar, pero se procuró realizar transectos en todo el perímetro del atolón, y obtener así la mayor representatividad de las distintas características arrecifales y geomorfológicas evaluadas en la prospección previa. Reconocidas como una herramienta útil para optimizar estudios científicos de campo (Makradikis et al. 1983), se realizaron algunas entrevistas que contribuyeron a la selección de sitios profundos (>15m) donde había probabilidad de encontrar langosta, gracias a la experiencia de algunos pescadores de la cooperativa de Langosteros del Caribe como Durán Gómez Obied y Clementito Mayorga.

Al considerar que uno de los objetivos principales de este estudio de campo fue el de verificar visualmente la densidad de *Panulirus argus* en zonas profundas (>15m), el mayor número de transectos se ubicaron en los perímetros del banco conforme a los criterios trazados en la prospección previa realizada durante el mes de abril:

- a) Un total de nueve transectos se realizaron en la zona de **sotavento** a una profundidad promedio de 18.9m. Siete de estos se ubicaron en la subzona de cordillera interior, uno en la cordillera exterior y uno en la terraza interior.
- b) Doce transectos se realizaron en total en la zona de **arrecife frontal** a una profundidad promedio de 19.9m. Cinco de estos se realizaron en las subzonas de frontal exterior y siete en frontal interior.
- c) Cinco transectos se realizaron en la zona de la **laguna arrecifal** con promedio de 8.1m de profundidad.
- d) Tres transectos se realizaron en la zona de **cresta arrecifal** a 6.7m promedio, en la zona de transición barlovento.

6.1.4 Inmersiones de observación y transectos

Con el uso de equipo SCUBA se realizaron hasta tres inmersiones por día, con una duración mínima de 15 minutos (min.), máxima de 52 min. y un promedio de 30 min., dependiendo de la profundidad a la que se haya llevado acabo el buceo inicial. Con una profundidad máxima de 38.3m, mínima de 5m y profundidad promedio de 15.6m Siempre se inició con los buceos más profundos y se finalizó con un somero, respetando los respectivos tiempos en superficie marcados por las tablas de buceo. Para determinar el tiempo de buceo y la profundidad se manejaron las tablas de la Marina de Estados Unidos y computadoras digitales proporcionadas por el personal de la Reserva.

Con los transectos trazados en Sotavento se procuró iniciar con aquellos en la Cordillera exterior (CE - de 23 a 32m de profundidad) o Terraza Exterior (TE de 20 a 23 m

de profundidad), para realizar los últimos en la Cordillera Interior (CI de 13 a 20m de profundidad). Aquellos transectos efectuados en el arrecife frontal se iniciaron en el arrecife frontal exterior (FE de 24 a 36 m de profundidad) y terminaron en frontal Interior (FI de 15 a 18m de profundidad), cuando las condiciones locales de corrientes así lo permitieron.

En estudios donde se han evaluado áreas de la misma magnitud variando el ancho de los transectos de 1 a 4m, no se han demostrado varianzas significativas en la precisión de conteo (exceptuando transectos de 1m de ancho, que subestimaban la población), sin embargo siempre los transectos mas anchos (4m) mostraron ser mas eficientes para evaluar un área en términos de ahorro de tiempo y fondos económicos (Pitcher et al. 1992). En el presente estudio se realizaron transectos de 5m de ancho, con una longitud variable dependiente de la profundidad y los tiempos de buceo. La longitud promedio de los transectos fue de 151.2m, y se lograron cubrir áreas desde 78m² hasta 3300m².

Los arenales fueron descartados para la evaluación, por lo que antes de la inmersión con equipo SCUBA, la lancha tiró con una cuerda a un buzo con snorkel, quien desde la superficie indicó la ubicación de los parches arrecifales o cordilleras. Así el buzo ayudó a posicionar la lancha en el punto mas profundo para geoposicionar y marcar con una boya (1) el punto inicial del transecto. A partir de este punto se inició la inmersión con SCUBA.

Una pareja de buzos equipados para realizar las inmersiones con SCUBA, portaron además una tabla de anotación, lápiz, cámara y cinta métrica. Estos, siguieron la cuerda de la boya (1) que depositó inicialmente el buzo con snorkel, hasta llegar al fondo donde se registró la profundidad inicial. Se marcó una distancia de 5m entre los buzos, e iniciaron el nado en paralelo con dirección hacia la zona menos profunda. La cinta métrica marcó la distancia de la línea recta que trazaron los buzos durante la ejecución del transecto. Cada buzo procuró revisar todos los posibles refugios que se encontraban dentro de un rango de 2.5m de distancia perpendicular a la cinta métrica. El área total del transecto dependió de la distancia en línea recta que fue posible recorrer según el tiempo de buceo, la profundidad, las corrientes y las condiciones locales de visibilidad. En el punto final del transecto se liberó otra boya (2), donde se anotaron las distancias totales recorridas con la cinta métrica. Dicha distancia se corroboró con la distancia entre las boyas y el geoposicionador. El área total se calculó con la simple multiplicación de los cinco metros que separaba a los buzos por la distancia total recorrida.

Tabla 3 - Se observan los 31 sitios (localidades) donde se efectuaron los transectos (promedio de longitud 151.2m) a diferentes profundidades, abarcando áreas con un promedio de 755.9m², y un rango desde 78m² hasta 3300m². En cada localidad se registró el tipo de zona, desarrollo (BD=bien desarrollado, MD=muy desarrollado, PD=Poco desarrollado, sd = sin datos), y las características (FE= frontal exterior, FI= Frontal Interior, TB = Transición Barlovento, TI= terraza interior, CI= Cordillera Interior). (Los sitios 8 y 9 sd si presentan registros de densidad)

| Sitio | Prof (m) | Área m2 | Zona | Desarrollo | Características |
|-------|----------|---------|-------------------|------------|-----------------|
| 1 | 18.3 | 500 | Arrecife frontal | BD | FI |
| 2 | 16.7 | 500 | Sotavento | MD | CI |
| 3 | 20.7 | 1000 | Norte sotavento | PD | CI |
| 4 | 17.7 | 600 | Sotavento | MD | CI |
| 5 | 16.7 | 500 | Sotavento | MD | CI |
| 6 | 16.7 | 500 | Sotavento | BD | CI |
| 7 | 16.7 | 500 | Laguna | BD | TB |
| 8 | 10 | 500 | sd | Sd | Sd |
| 9 | 8 | 500 | sd | Sd | Sd |
| 10 | 5 | 600 | Laguna arrecifal | PD | Sd |
| 11 | 38.3 | 900 | Sotavento central | MD | CE |
| 12 | Sd | 500 | Sotavento central | MD | CI |
| 13 | 14.6 | 1000 | Arrecife frontal | PD | FI |
| 14 | 15.2 | 3300 | Arrecife frontal | PD | FI |
| 15 | 5.6 | 1000 | Cresta Arrecifal | PD | TB |
| 16 | 5.6 | 1000 | Cresta Arrecifal | PD | TB |
| 17 | 20 | 950 | Arrecife frontal | MD | FE |
| 18 | 9 | 900 | Cresta Arrecifal | PD | TB |
| 19 | 7.2 | 250 | Laguna arrecifal | BD | Sd |

| | | | | | |
|----|------|--------|------------------|----|----|
| 20 | 7 | 750 | Laguna arrecifal | BD | Sd |
| 21 | 27 | 1500 | Arrecife frontal | MD | FE |
| 22 | 15 | 1750 | Sotavento | BD | CI |
| 23 | 10 | 1700 | Sotavento | BD | TI |
| 24 | 18.9 | 300 | Arrecife frontal | BD | FI |
| 25 | 17 | 78.54 | Arrecife frontal | BD | FE |
| 26 | 18 | 96.2 | Arrecife frontal | BD | FE |
| 27 | 22 | 375 | Arrecife frontal | BD | FI |
| 28 | 22 | 153.93 | Arrecife frontal | BD | FI |
| 29 | 20.4 | 110 | Arrecife frontal | BD | FI |
| 30 | 26.4 | 900 | Arrecife frontal | MD | FE |
| 31 | 5 | 220 | Laguna arrecifal | MD | Sd |

6.1.5 Cálculo de la densidad

Se define como el número de individuos que ocupan un área en relación al tamaño de dicha área, y comúnmente es utilizada como medida de abundancia poblacional: número de individuos por unidad de área. En el presente estudio la densidad se calculó conforme a (Pitcher et al. 1992, Lipcius et al. 1997) contando el número de individuos de *Panulirus argus* avistados dentro del área trazada por el transecto (m²). El resultado calculado en metros cuadrados (m²) fue convertido a número de individuos por hectárea:

$$\# \text{ individuos /área (m}^2\text{)} * 10,000 = \text{densidad (indh}^{-1}\text{)}. \text{ Ecuación 1}$$

Ésta medida permitió obtener un referente de la distribución espacial en función del tipo de hábitat o profundidad en donde se realizaron los transectos y la extrapolación de los datos hacia otras áreas con características ambientales y geomorfológicas semejantes.

6.1.6 Identificación del dimorfismo sexual:

1. Una manera para determinar el sexo de las langostas sin capturarlas es observando el segundo y tercer par de pereiópodos, los cuales están más desarrollados en los machos que en las hembras, sobre todo en organismos adultos.
2. Las hembras presentan en la base del tercer pereiópodo un orificio llamado gonoporo, y en el quinto par presenta una pseudoquela o “uña” con la cual rasga el espermatóforo que está adherido al esternón (sternum).
3. Las hembras presentan en el abdomen unas estructuras secundarias llamadas endopoditos con las cuales retienen la masa de huevos.

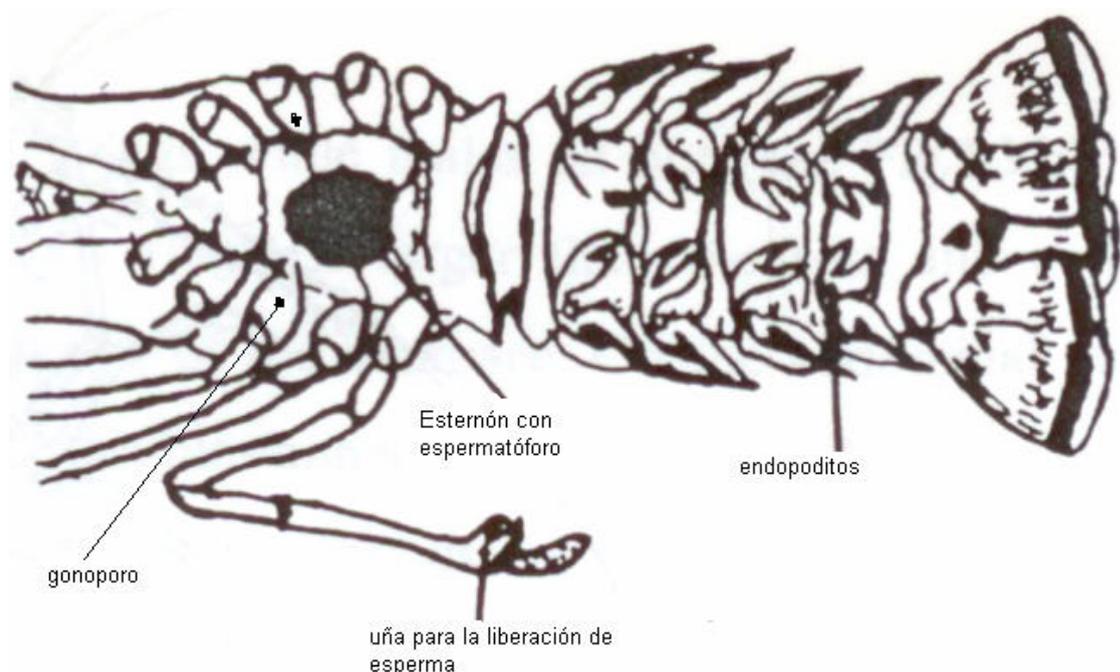


Figura 3 - Características de una hembra de *Panulirus argus* con madurez sexual. Se observa el gonoporo, la uña en el quinto par de pereiópodos, el manchón de espermatóforo en el esternón y los endopoditos (González-Cano 1991).

Los registros del tipo de sexo se realizaron identificando cuatro categorías: machos, hembras, hembras ovígeras y organismos sin sexo identificado.

En campo la identificación del sexo se facilitó cuando era posible ver la langosta hasta el abdomen, ya que la uña del quinto par y los endopoditos de las hembras son características muy evidentes. Cuando las langostas se encontraban muy escondidas bastó con fijarse en la longitud del segundo y tercer par de pereiópodos para clasificar a los machos. En caso de incertidumbre se estimó y anotó la longitud del cefalotórax y se puso una cruz en la columna denominada “sexo no identificado” que funcionó como registro neutro que no alteró la relación machos/hembras. Las hembras ovígeras se reportaron en una columna independiente y se identificaron al observar la masa de huevos contenidos

dentro del abdomen flexionado que junto con los pleópodos resguardan la masa naranja, café, o café obscura dependiendo de la madurez de desarrollo de los huevecillos.

El análisis de la proporción sexual permitió observar si los machos y las hembras difieren en forma significativa de la unidad (proporción 1:1) y si éstas variaciones dependen del hábitat o el estrato de profundidad en patrones de distribución preferencial por sexos.

6.1.7 Determinación de la talla

La longitud del cefalotórax (LC) de la langosta se consideró desde los cuernos rostrales hasta el margen del cefalotórax. Ésta se determinó con una regla colocada a la distancia más cercana que el buzo pudiera aproximarse. Debido al movimiento de reacción de las langostas al aproximar la regla, las corrientes y la visibilidad disminuida en profundidad, se complicó en campo medir con precisión los centímetros, por lo tanto se establecieron medidas con intervalos de 50mm iniciando desde los 50mm hasta llegar a los 250mm.

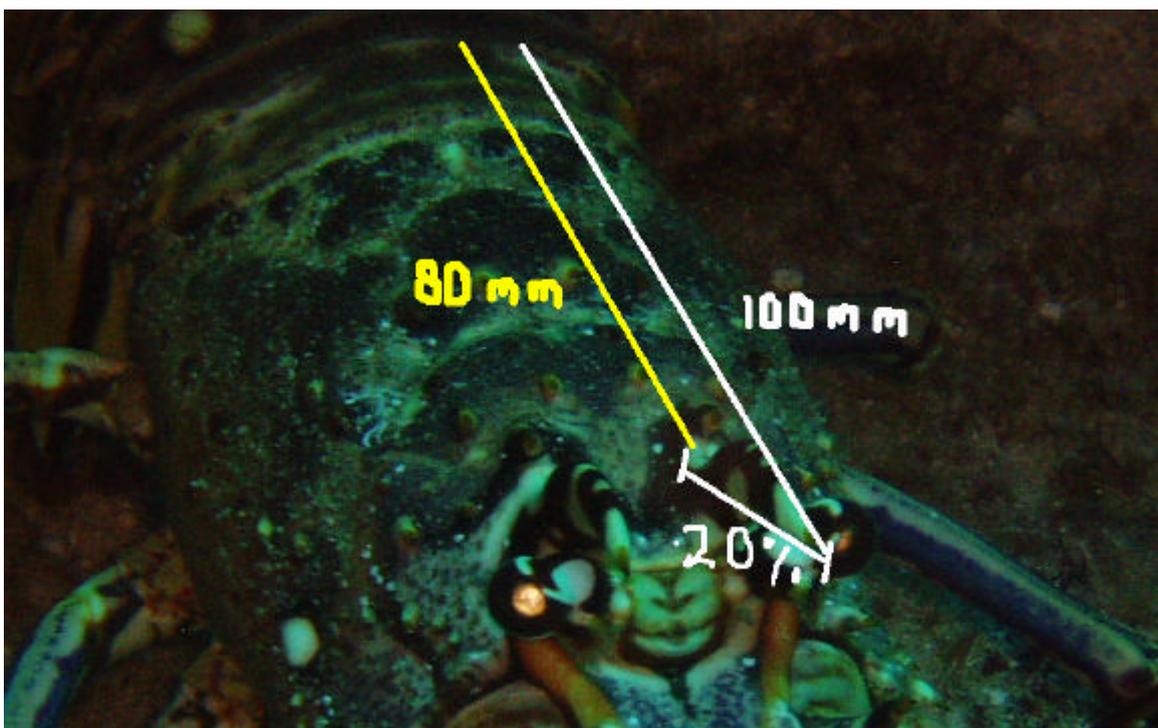


Figura 4 - Ajuste de las medidas de longitud cefalotorácica en función de los cuernos rostrales.

Las medidas de Longitud Cefalotorácica LC que se realizaron *in situ*, consideraron desde la punta de los cuernos del rostro y no desde la base anterior de estos (Fonseca-Larios y Briones-Fourzán 1998). Esto significó que las medidas registradas originalmente fueran un 20% mayores a lo que debieron reportarse, por lo que se ajustaron las medidas originales a las siguientes clasificaciones:

Tabla 4 - Ajuste de las medidas de longitud cefalotorácica originalmente medidas desde parte superior de cuerno rostral (mm).

| Ajustados | Original sustituido |
|--|----------------------------|
| Juveniles de (40 a 80mm LC) | De 5 a 10cm de LC |
| Adultos de (80 a 120mm de LC) | De 10 a 15cm de LC |
| Adultos grandes de (120 a 160mm LC) | De 150 a 200mm de LC |
| Adultos extra grandes (160mm a 200mm de LC) | De 200 a 250mm de LC |

6.2 Análisis estadístico

Se calculó la estadística básica (media, mediana, moda y desviación estándar) de las densidades (indha^{-1}) en los 31 sitios de muestreo para observar en términos generales, la dispersión, intervalo y distribución de los datos. Asimismo se realizó un análisis de estadística básica para las diferentes categorías de datos clasificados por sexo y por talla.

6.2.1 Análisis de frecuencias de densidad:

Con la elaboración de una tabla de análisis de frecuencias de los valores de densidad fue posible establecer categorías de BAJA, MEDIA, ALTA y MUY ALTA densidad por medio de percentiles que consideran un 25% de los sitios dentro de cada categoría, cuyos grupos denominaremos cuartiles. Así, el total de sitios fue dividido en cuartiles en función de su valor de densidad y las categorías se estructuraron con sitios cuyos intervalos de densidad contenían hasta 6.7 (indha^{-1}) dentro el cuartil denominado BAJA densidad, sitios con hasta 76.5 (indha^{-1}) para el cuartil denominado MEDIA, sitios con hasta 160 (indha^{-1}) para el cuartil denominado ALTA y sitios con más de 160 (indha^{-1}) en el cuartil denominado MUY ALTA. Dicha categorización permite visualizar los datos en función de una densidad relativa, y realizar un análisis estadístico que no sesga los resultados hacia los valores extremos.

Se asignaron valores numéricos en orden lógico creciente del 1 al 4 para cada categoría de densidad, BAJA (1), MEDIA (2), ALTA (3) a MUY ALTA (4), y se clasificaron los sitios según la categoría, para obtener una distribución de frecuencias de sitios por categoría. A dicha distribución de frecuencias de sitios clasificados se le corrieron las pruebas de normalidad, de Chi cuadrada y Kolmogorov –Smirnov para ver si los datos podían tratarse de manera paramétrica.

6.2.1.1 La relación densidad vs. Profundidad

La prueba de Chi cuadrada fue utilizada a partir de un análisis de frecuencias para evaluar la asociación/independencia entre las variables categóricas de profundidad (m) y densidad (indha^{-1}). La categoría profundidad se dividió de a) 0-15m y b) >15m, considerando los 15m de la profundidad límite de captura por pesca. Para la categoría de densidad, se utilizaron los cuartiles preestablecidos de BAJA (hasta 6.7indha^{-1}), MEDIA (hasta 76.5indha^{-1}) ALTA (hasta 160indha^{-1}) y MUY ALTA densidad ($>160\text{indha}^{-1}$).

Con estos criterios categóricos se construyó una tabla de contingencia con valores OBSERVADOS y ESPERADOS, cuyo valor numérico variable era equivalente a la cantidad de sitios que correspondía a una profundidad y densidad específica. Los valores ESPERADOS para cada condición (profundidad y densidad) específica se calcularon con una ecuación:

$$\text{ESPERADO} = (\text{sitios columna} * \text{sitios renglón}) / \text{sitios totales}$$

Donde las columnas se componen por las categorías de profundidad y los renglones se componen por las categorías de densidad

A partir de la tabla estructurada por categorías se realizó el cálculo para el estadístico de Chi cuadrada de la siguiente manera:

$$X^2 = \sum ((O-E)^2/E), \text{ Ecuación 2}$$

Donde O = # sitios observados y E = #sitios esperados, para ser comparada con tablas de referencia.

Con estos resultados se observó qué tan relacionadas estaban entre sí las categorías de estratos de profundidad (0-15m, y >15m) y las categorías de densidad (BAJA; MEDIA, ALTA y MUY ALTA) con el estadístico de Chi-Pearson.

6.2.1.2 Cambio de la densidad vs. zona fisiográfica

La prueba de Chi-cuadrada se empleó para medir el nivel de asociación/independencia entre las categorías de densidad (BAJA, MEDIA, ALTA y MUY ALTA) y las Zonas fisiográficas. En la tabla de contingencia, los renglones lo ocuparon las categorías de densidad y las Columnas las zonas fisiográficas. Los valores variables para cada condición específica (zona, densidad), fueron el número de sitios OBSERVADOS dentro de cada columna y renglón a partir de los cuales se construyeron los valores ESPERADOS como ya se mencionó anteriormente. Con los valores observados y esperados se calculó el estadístico de Pearson y se reportó la relación entre las variables de densidad y zona fisiográfica.

6.2.1.3 Prueba de diferencias de densidad entre zonas fisiográficas

La agrupación de sitios ordenados por categorías de densidad [BAJA (1), MEDIA (2) ALTA (3) y MUY ALTA (4)], presentaron una distribución normal que permitieron la realización de análisis paramétricos. Así, fue posible llevar a cabo una prueba de ANOVA de una vía para comparar las zonas fisiográficas en términos de las densidades. Se buscó observar si existieron diferencias significativas entre las densidades registradas para los sitios que se encontraban dentro de las diferentes zonas arrecifales, lo cual permitió ver si existió algún criterio ecológico que distinguiera las zonas.

6.2.1.4 Efecto del Nivel de desarrollo arrecifal vs. categorías de densidad.

La prueba de Chi cuadrada se empleó para medir el nivel de asociación/independencia entre las categorías de densidad (BAJA, MEDIA, ALTA y MUY ALTA) y el nivel de desarrollo arrecifal (POCO, BIEN y MUY desarrollado) cuyos criterios se encuentran establecidos en la Tabla 2. En la tabla de contingencia los renglones lo ocuparon las categorías de densidad y las Columnas los niveles de desarrollo. El valor variable para cada condición específica (desarrollo, densidad), fueron el número de sitios OBSERVADOS dentro de cada columna y renglón, a partir de los cuales se construyeron los valores ESPERADOS, como ya se mencionó anteriormente. Con los valores observados y esperados se calculó el estadístico de Pearson y se reportó la relación entre las variables de densidad y nivel de desarrollo arrecifal.

6.2.1.5 Efecto de la Profundidad vs. las Tallas Grandes Reproductivas

La prueba de Chi cuadrada también se empleó para medir el nivel de asociación/independencia entre las categorías de tallas grandes de langostas (>120mm LC) vs. profundidad. El criterio de las categorías de profundidad se tomó conforme a la profundidad límite de captura de los 15m, donde las columnas se constituyeron por profundidades mayor y menor a los 15m. Las categorías de tallas (renglones en la tabla) se denominaron $\geq 60\%$, y $< 60\%$, lo cual implicó por cada sitio conocer la proporción del número de individuos avistados de tallas grandes (>120mm LC) y saber si superaba el 60%. Así, el número variable de valores esperados y observados fue el número de sitios cuya composición de tallas extra grandes superaba o no el 60% de la población a una profundidad dada. Con esto se construyó la tabla de tabulación cruzada de los valores y se corrió la prueba de Pearson.

6.3 Observación en campo de capturas y datos pesqueros

6.3.1 Manejo, estructura administrativa y contable de las cooperativas

Con fines de comprender el funcionamiento de la administración y el manejo de la pesquería de langosta en Banco Chinchorro se realizaron visitas a las instalaciones de las Sociedades Cooperativas de Producción Pesquera (SCPP) de Langosteros del Caribe, las de la SCPP Pescadores de Banco Chinchorro en Chetumal y se dialogó con directivos de la SCPP de Andrés Quintana Roo en Xcalac. Durante dichas visitas se recopiló información bruta sobre la contabilidad que es llevada en las diferentes bitácoras de los pescadores a lo largo de la cadena productiva para los años 2003 y 2004.

Los datos referentes a todo el año 2003 se capturaron en formato digital, ordenándolos en tablas por mes de acuerdo a como se tenían los registros en las bitácoras contables administrativas. Dichos datos fueron comparados con las bitácoras de los barcos nodriza de la cooperativa Langosteros del Caribe para ver si empataban. Esto permitió calcular la captura promedio por pescador, y observar la tendencia mensual de la captura para dicha temporada.

Durante el mes de agosto 2005, se realizaron una serie de circuitos pesqueros sobre las pangas para recopilar información detallada acerca del procesamiento del producto y validar algunos parámetros como peso promedio, proporción sexual y longitudes promedio de las langostas capturadas, las cuales se presentaron en tablas.

La información de la captura histórica mensual de los años 1998 al 2005 se solicitó en la subdelegación de pesca de SAGARPA Chetumal, con fines de completar la información disponible y así observar como se han dado los cambios a través del tiempo. Ésta información se obtuvo en formato digital y fue corroborada con algunos archivos de registros en papel.

6.3.2 Datos pesqueros

6.3.2.1 Captura

A partir de las libretas de campo obtenidas para las fechas de 2003-04, se pudo calcular la captura promedio por pescador y observar el patrón de la captura por mes.

6.3.2.2 Edad y análisis de frecuencias de tallas 2005

Utilizando una variedad de métodos, donde el principal es el análisis de frecuencia de longitudes, se han obtenido muchas estimaciones de crecimiento *P. argus* para la región del sureste de México, Cuba y Belice. En el reporte R 619 del taller de la FAO (FAO 2001b) se menciona que en los talleres realizados en 1998 para la región, el estudio Cubano

(de León et al. 1995) era el más confiable en cuanto a las estimaciones de los parámetros de la ecuación de Von Bertalanffy ($K=0.209 \text{ año}^{-1}$, $L8=185\text{mm CL}$ y una $t_0=0.43$), que fueron derivados del método de SLCA obtenidos de una muestra grande de clases de talla. Así mismo el autor del análisis poblacional de *P.argus* más reciente para la RBBCh (Sosa-Cordero 2003) considera dichos parámetros para su análisis de proporción de edad según las tallas de captura.

A partir de los organismos capturados que fueron medidos y pesados sobre las pangas en agosto del 2005, se obtuvieron los datos de longitud y peso para el presente estudio. Hemos considerado los parámetros promedio actualizados por los propios autores ($K= 0.2405 \text{ año}^{-1}$, $L8 =183.6\text{mm}$ y $t_0 =0.45 \text{ años}$ (de León et al. 2005)), cuyos resultados han sido publicados utilizando la rutina NSLCA, producto de una buena conversión en todas las clases de edad (t).

De la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy:

$$L_i = L_{\infty} [1 - \exp(-K(t-t_0))], \text{ Ecuación 3}$$

Donde K , L_{∞} , y t_0 representan constantes de crecimiento, la longitud infinita y la edad “cero” de las langostas cuando $L = 0$, respectivamente, fue despejada la “ t ” para encontrar los valores de la edad relativa en función de las longitudes cefalotorácicas (LC) muestreadas.

$$t = \text{Ln}(1-(L_c/L_{\infty})) (-1/K) + t_0, \text{ Ecuación 4}$$

que con los valores de parámetros bibliográficos $K= 0.2405 \text{ año}^{-1}$, $L8 =183.6\text{mm}$ y $t_0 = 0.45 \text{ años}$, (de León et al. 2005) se traduce a:

$$t = \text{Ln}(1-(L_c/183.6)) / -0.2405 + 0.45$$

Se llegó así la estimación de la edad de las langostas en función de las tallas cefalotorácicas, tomando en cuenta el total de capturas por pesca, que incluyeron los valores recuperados por isometría que se encuentran en los anexos I al V. Esto permitió realizar el análisis de frecuencias de edad, a partir del número de individuos capturados en las lanchas y realizar un histograma de la composición de edades de los individuos capturados.

6.3.2.3 Mortalidad (F) 2005

Se determinaron las edades de los individuos de la muestra de captura, asumiendo que ésta representa la composición de edades del *stock* y que todos los grupos de edad capturados son igualmente vulnerables al arte de pesca. Se construyó la curva de captura considerando que todos los grupos de edad han tenido una abundancia semejante en el reclutamiento y han sido sujetos a la misma mortalidad después del reclutamiento.

El coeficiente de mortalidad instantánea (Z) se puede determinar en un intervalo de tiempo corto dt , donde las causas de muerte son independientes entre sí, y la tasa de cambio en número de langostas (dN/dt) es proporcional al número Nt presente para un tiempo (t) dado: $dN/dt = Z Nt$. Al integrar observamos que $N_t/N_0 = e^{-Zt}$, lo que nos dice que en un *stock* explotado los sobrevivientes tienden a declinar de manera exponencial con el tiempo y la edad respondiendo a la suma de las tasas de mortalidad natural y la mortalidad por pesca por lo que se representa con la ecuación (Baranov 1918):

$$N_t = N_0 e^{-Zt}. \text{ o bien } N_t = N_0 e^{-(M+F)t} \text{ Ecuación 5}$$

Donde $Z=F + M$ y F = mortalidad por pesca y M = mortalidad natural. En función de dicha ecuación, se construye un gráfico del logaritmo natural del número de sobrevivientes N_t , para cada edad determinada, a lo cual se le refiere como la curva de captura (Beverton y Holt 1957). A ésta se le genera una línea de ajuste a los datos, cuya pendiente numéricamente equivale a la mortalidad instantánea Z .

Para aplicar este modelo de cálculo de mortalidad a la langosta *P. argus*, donde es difícil identificar los componentes de grupos de edad, se generó una curva de captura de longitud transformada, a partir de la distribución de frecuencias de tallas cuyas equivalencias en edad se obtuvieron de los parámetros bibliográficos $K= 0.2405 \text{ año}^{-1}$, $L_8 = 183.6\text{mm}$ y $t_0 = 0.45$ años, (de León et al. 2005) para la ecuación

$$t = Ln (1-(Lc/183.5)) / -0.2405) + 0.45.$$

La mortalidad natural M se obtuvo de la $k = 0.24$ (de León et al. 2005) multiplicada por el factor de conversión de 1.5 recomendado por Jansen (Jansen 1996) donde

$$M= 1.5 (k) = 0.36 \text{ Ecuación 6}$$

Con base en el histograma de frecuencias de edad se construyó la curva de captura que se muestra en la Figura 16 cuya ecuación responde a: $N_t = N_0 e^{-Zt}$

6.4 Modelo de FISMO (Fishery simulation Model)

6.4.1 Elementos del modelo

Con base en los patrones temporales de los *stocks* de *Panulirus argus*, exploramos la posibilidad de encontrar evidencias de declive en la biomasa como resultado de un incremento en el esfuerzo después de los picos reproductivos. Considerando los patrones de abundancia temporal mostrados, se utilizaron una combinación de métodos y procedimientos para la evaluación del *stock*. Los cambios en abundancia a lo largo del tiempo se determinaron utilizando los datos de captura, así como los costos y beneficios de la actividad pesquera.

Se examinaron los patrones en mortalidad y las estimaciones de biomasa total en una serie de tiempo de 15 años. Los criterios para la evaluación de los escenarios de pesca, se basaron en puntos de referencia biológicos, tales como los niveles de mortalidad específicos (F), que representan las etapas particulares de la población, así como la (F) que se requiere para la obtención del máximo rendimiento sostenible (F_{MSY}), los niveles de mortalidad e intensidad de pesca que produce el máximo rendimiento económico (F_{MEY}), los niveles de empleo bajo estos escenarios en contraste con el óptimo, y la mortalidad por pesca en el punto de rendimiento de equilibrio económico (EEY), cuando el costo y beneficio son equivalentes o bien la razón beneficio/costo es igual a 1 $B/C=1$ (F_{EEY}) (mortalidad en EEY).

Los parámetros poblacionales, más los datos de captura se analizaron con el modelo de simulación. La serie de tiempo de los datos reportados de 1982-83 a 2004-05, así como los parámetros poblacionales obtenidos para *P. argus* se utilizaron en el análisis implementado por medio del modelo de simulación semiautomático estructurado por edades FISMO (Chávez 2005) Los valores de los parámetros poblacionales, edad de primera captura, datos de captura, costos de extracción, tamaño de la flota, número de pescadores y demás fuentes de información, se muestran en la Tabla 5

Tabla 5 - Valores de parámetros poblacionales de la langosta *Panulirus argus* considerados para FISMO, (se incluyeron datos de captura). Los parámetros poblacionales incluyen parámetros de crecimiento (L8, W8 K y t_0), los valores de potencia de “a” y “b” obtenidos de la regresión, edad de 1ª captura (t_c), y edad de primera madurez. L8, es tomada de (González-Cano 1991)

| Parámetros poblacionales (* = estimados por el modelo) | | | |
|---|-------|--|------|
| L8 (cm) (abdominal) | 31 | Edad de 1a captura, t_c (años) | 3 |
| W8 (g) | 1,619 | Edad de 1a madurez, t_m (años) | 3 |
| K (año) | 0.24 | Phi* | 2.4 |
| T_0 | -0.16 | Longevidad estimada (como $3/K$, años)* | 13 |
| A | 0.038 | M (año)* | 0.36 |
| B | 3.1 | | |

6.4.1.1 Datos

Los números ingresados en el FISMO, que incluyen los parámetros de la población y los 15 años de captura de *P. argus* en Banco Chinchorro se muestran en la Tabla 5 y 18. Se incluyen los datos de captura desde la temporada 1982-83, pero la reconstrucción del *stock* comprende solo las últimas 15 temporadas desde 1990-91 hasta 2004-05.

6.4.1.2 Crecimiento y estructura de edades

Se tomó la tasa de crecimiento de (González-Cano 1991) para realizar una estimación de la composición de edades, con referencia a los datos a captura total referidos. Con estos resultados parciales, la mortalidad total (Z_t) se pudo determinar con el modelo de decaimiento exponencial

$$N_{a+1} = N_a \cdot e^{(-z_t)} \text{ Ecuación 7}$$

donde N_{a+1} es el número de langostas de edad $a+1$, y N_a es el número de langostas muestreadas de edad a . La unidad de tiempo son años.

La estructura de edades preeliminar se estimó asumiendo una abundancia proporcional entre las clases de edad y mortalidad natural constante. Para cada año, la abundancia inicial para cada clase de edad ($N_{a,y}$) se fijó según la abundancia proporcional

de edad $n_a / \sum n_a$ obtenida de la ecuación 7. Estos valores se utilizaron para calcular la captura por edad como es propuesto por (Sparre y Venema 1992), los cuales fueron integrados al modelo de simulación FISMO (Chávez 2005).

$$C_{a,y} = N_{a,y} \cdot W_{a,y} \frac{F_t}{(F_t + M)} (1 - e^{-(F_t+M)}) \text{ Ecuación 8}$$

donde, C_{ay} es el número de langostas espinosas a de edad “a” en la captura del año “y”; N_{ay} es la abundancia en cuanto a el número de las langostas de edad “a” en el año “y”, W_{ay} es el peso abdominal equivalente a N_{ay} , y tanto F_t como M corresponden a los valores arriba mencionados. Dadas las condiciones iniciales, los valores de $C_{a,y}$ se ajustaron variando los valores $N_{a,y}$ hasta satisfacer la condición

$$\sum_a^k C_{a,y} = Y_{y(OBS)} \text{ Ecuación 9}$$

donde, $Y_{y(OBS)}$ es la captura registrada durante el año “y”. Dichas ecuaciones se evaluaron para cada año en la serie de tiempo analizada.

Para la estimación de la mortalidad natural (M), se adoptó el criterio de (Jansen 1996), donde $M = 1.5K$, y K es el parámetro de tasa de crecimiento de la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy. La estimación de biomasa del *stock* se calculó para las quince temporadas (años) analizadas por el modelo, donde la tasa de explotación es $E = (F/(M+F))$. Los valores de E , fueron comparados con los niveles del valor de E del F_{MSY} . y así se realizó un diagnóstico de cuales años de la serie histórica se encontraron sub o sobre explotados, lo cual permite ser una herramienta de recomendación para incrementar o bajar la mortalidad por pesca (F) en años futuros.

6.4.1.3 Reclutamiento

La abundancia anual por cohortes ($N_{a,y}$) se utilizó para estimar la abundancia de adultos (S_y) a lo largo del tiempo, considerando edades mayores a la edad de madurez (3 años), mientras que la abundancia de los grupos de un año se consideraron como el número de reclutas (R_y). La relación de *stock* reclutamiento se evalúa por medio de una versión ligeramente modificada del modelo de (Beverton y Holt 1957) en su forma:

$$R_{y+1} = \frac{a'S_0S_y}{S_y + b'S_0} \text{ Ecuación 10}$$

donde R_{y+1} es igual al número de reclutas de un año $y+1$; S_y es el número de adultos en el año “ y ”; S_0 es máximo número de adultos en la población, a' y b' son los parámetros modificados del modelo original que satisfacen $a = a'S_0$, y $b = b'S_0$. En el modelo original, a es el número máximo de reclutas, y b es el número de adultos necesarios para obtener $a/2$; Su valor se ajustó al valor de la captura reportado para la última temporada y el número asignado fue $b = 1.5338$, el cual se mantuvo constante a lo largo de la simulación. Así pues, $a' = a/S_0$, es decir, la tasa mínima de reclutamiento (a_{\min}) cuando la densidad del *stock* de la langosta es alto. La proporción a/b representa la pendiente inicial o bien la tasa máxima de reclutamiento (a_{\max}) cuando la densidad de la población es baja (Hilborn y Walters, 1992); en este caso el valor se mantuvo constante e igual a 0.25, sin embargo puede modificarse por el usuario en el manejo del modelo. Una de las características del modelo de reclutamiento adaptado a la simulación, es que cuando se aplica a *stocks* que han sido explotados intensivamente, al estimar el número de reclutas que produce la captura máxima, el número estimado después de ese año se mantiene constante. Ésta característica puede llevar a la sobre-estimación de la biomasa del *stock* y una subestimación de la mortalidad por pesca en años subsecuentes, cuando la biomasa se encuentra decreciendo; por ésta razón, para el periodo histórico el número de reclutas para cada año se estimó directamente y la ecuación de *stock*-reclutamiento solamente se aplicó en la simulación de escenarios de explotación.

6.4.1.4 Análisis bioeconómico

La información actualizada sobre los costos de la actividad pesquera y el valor de las capturas, permitieron tener la información necesaria para un análisis básico bio-económico, suficiente para definir algunos criterios útiles para fines de manejo. Los datos se obtuvieron directamente de la sociedad Cooperativa Langosteros del Caribe, que en 2004 representó cerca del 51.97% de la captura. Las regalías totales de los valores de captura pagados en playa se consideraron como los beneficios, y los costos se calcularon multiplicando el tamaño de la flota, por el costo total de 1 viaje. La información detallada en cuanto a costos y utilidades para la temporada 2004-2005, se muestra en la Tabla 24.

6.4.1.5 Capacidad de pesca y número de pescadores.

Se obtuvieron los datos sobre el tamaño de la flota, número de pescadores, y un número aproximado de viajes. Así, el número de lanchas que pescan promedio por día en el banco son 33, y el número de pescadores por temporada son 98. Adicionalmente al número de lanchas para el trabajo diario se tienen tres barcos nodriza de 45 pies, donde se almacena en hielo la captura diaria hasta que se ha llenado la bodega. De ahí, la langosta es trasladada

a Mahahual a aproximadamente tres horas, para ser vendida a intermediarios de Cancún, Mérida o Chetumal quienes la sortean por tallas y por lo general la exportan a los Estados Unidos. La capacidad de pesca, o número de pangas, (B_F) y el número de pescadores en una temporada dada, se estimó a partir del siguiente modelo:

$$B = C \cdot F \cdot B/C \cdot \delta \text{ Ecuación 11}$$

donde C, F y B/C son la captura, la mortalidad por pesca y la relación beneficio/costo respectivamente para cada año, y δ es el coeficiente ajustado a la temporada de pesca 2004, donde las variables eran conocidas o estimadas respectivamente. En este caso $\delta = 2.78$, de tal forma que en la temporada de pesca 2004-2005, $B = 33$ que al multiplicar por 2.7 (más 9 que trabajan en los barcos nodriza), obtenemos el número de pescadores (N_F) de 98. La ecuación desarrollada para la estimación del número de pangas depende de la captura de tal forma que el número máximo (36) se vincula con la captura máxima sostenible (MSY), cuyo valor se obtiene por el modelo; su tamaño mínimo (23) se encuentra determinado por un valor alto de $F = 0.32$, de tal forma que $B/C = 1$; conforme se sube en los valores de F, la pesquería se vuelve no rentable. De la misma forma, el número de pescadores se obtiene al multiplicar el número de pangas por 2.7 y sumarle 9 tripulantes de los barcos nodriza.

6.4.1.6 Simulación

Ésta técnica se utiliza para describir los principales procesos económicos y ecológicos que determinan la dinámica del *stock*. Permitió simular diferentes escenarios de explotación bajo diferentes combinaciones de intensidades de pesca, para maximizar los beneficios (en biomasa o utilidades, con la capacidad de carga de la flota y su valor social como variables dependientes) Para este propósito, los procesos analíticos adoptaron conceptos de (Chávez y Arreguín-Sánchez 1993), (Chávez 1996.)

Con los parámetros de la población, se obtuvieron las curvas de crecimiento de longitud y peso. Las capturas plasmadas en el modelo permitieron la estimación de la biomasa del *stock* y los valores de F correspondientes a cada año de la serie. Se definió la estructura de edades del *stock* y su tamaño.

El modelo permite estimar los cambios en abundancia de la población a través del número de sobrevivientes de cada cohorte. La condición inicial se asigna con valores semilla de F, lo cual permite estimaciones preliminares de abundancia para cada cohorte a cada año (mes). El ajuste del valor anual de F se realizó por medio del cálculo de la captura propuesto por (Sparre y Venema 1992). El valor variable de la F anual, permitió la condición de que la captura simulada fuera equivalente a la captura registrada. Al incorporar la información pertinente sobre los costos de pesca los beneficios y valores sociales de la pesquería actual, fue posible obtener información sobre los valores económicos y sociales de la pesquería bajo una serie de escenarios distintos de explotación.

6.4.1.7 Escenarios de explotación

Este análisis permitió la determinación de valores de F que eran requeridos para definir dos puntos de referencia máximos F_{MSY} y F_{MEY} . Otro punto de referencia que también se definió fue la F que se requiere para obtener el número máximo de empleos. Se observó que el nivel de captura depende tanto de F como de la edad de primera captura, por lo que es importante reconocer que ésta afecta las variables socioeconómicas y variables de captura. Las estimaciones de utilidad, tasa de B/C , número de pangas y número de pescadores resultan de cada escenario. Se realizaron una serie de estimaciones para determinar el nivel de incertidumbre de las estimaciones del *stock* y la captura. Los resultados del modelo analizan captura, utilidad, biomasa del *stock*, y tasa de producción.

Los resultados fueron comparados contra los puntos de referencia, con respecto a F y t_c (edad de primera captura). Esto permitió probar una serie de escenarios con posibilidades de uso para metas en el manejo.

7. RESULTADOS

En la presente sección se presentan los resultados que se refieren a los diferentes sub-temas tomados en consideración para estudiar el estado actual de la población de langosta *Panulirus argus* y la pesquería en la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro. La secciones se subdividen entres grandes rubros:

- 1) El ámbito ecológico (densidad, distribución, tallas, cambios conforme a la profundidad zonas fisiográficas y desarrollo arrecifal).
- 2) El ámbito socioeconómico y organizativo (estructura administrativa, manejo, artes de pesca. procesamiento, comercialización).
- 3) El ámbito pesquero (datos de captura, tallas, edad, selectividad, mortalidad) y ajuste del modelo (*stock*-reclutamiento, captura potencial, rendimiento económico, tamaño de flota, beneficios sociales, diagnóstico de la pesquería).

7.1 Estimación de la densidad y distribución de *Panulirus argus* por medio de la observación con transectos

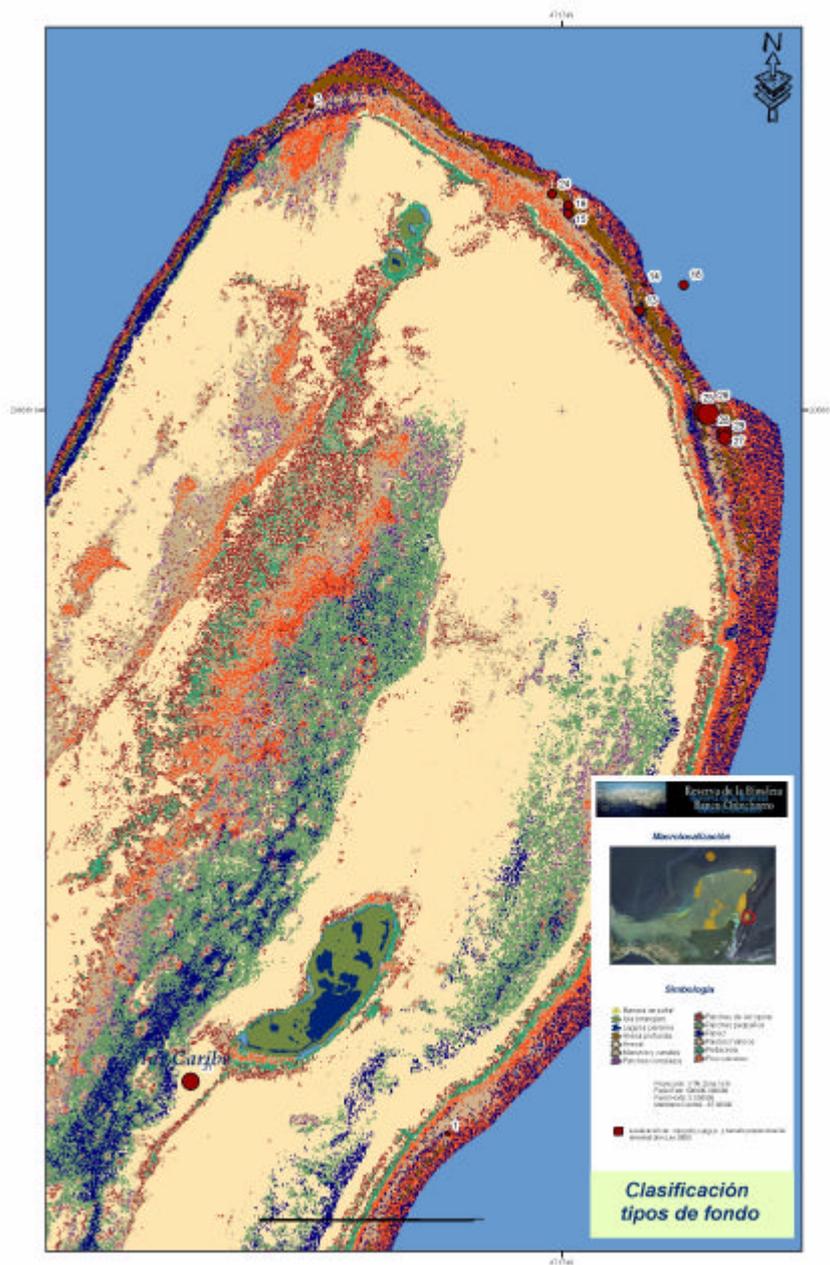


Figura 5 - Distribución de las localidades avistadas en zona norte. La densidad de langostas está en proporción al tamaño del círculo rojo. Mapa de fondo tomado de base de datos de CONANP – Reserva de la Biosfera Banco Chichorro. Levantamiento geográfico y caracterización geomorfológica con énfasis en las comunidades coralinas e ícticas, responsable Dr. Jesús Ernesto Arias González

En las Figura 5 y Figura 6 se ubican los 31 sitios donde fueron realizados los transectos para identificar la densidad de la langosta *Panulirus argus*. En círculo rojo cuyo tamaño es proporcional a la densidad se muestra que ésta no es homogénea en las diferentes zonas fisiográficas. Los sitios de mayor densidad que fueron observados se concentran en la zona noreste del banco, mientras los sitios de menor densidad se ubican en la zona occidental del Banco principalmente.

En la Tabla 6 se aprecian los valores numéricos de densidad obtenidos a partir de los buceos realizados en el mes de mayo de 2005. Los resultados están ordenados de menor a mayor en correspondencia con el sitio respectivo, indicado en la Tabla 6 con un número; se puede observar la relación entre la profundidad y la zona fisiográfica, así como el tipo de desarrollo y las características arrecifales del hábitat correspondiente.

Tabla 6 - Datos de sitios ordenados de Menor a Mayor densidad de langosta, con tipo de desarrollo arrecifal BD=bien desarrollado, MD=muy desarrollado, PD=Poco desarrollado, sd = sin datos, y tipo de FE= frontal exterior, FI= Frontal Interior, TB = Transición Barlovento, TI= terraza interior, CI= Cordillera Interior, conforme a criterios de (Amigos de Sian Kaan 1997, INE-SEMARNAP 2000)

| Sitio | densidad indha ⁻¹ | profundidad (m) | zona | desarrollo | características |
|-------|------------------------------|-----------------|-------------------|------------|-----------------|
| 5 | 0.00 | 16.7 | Sotavento | MD | CI |
| 6 | 0.00 | 16.7 | Sotavento | BD | CI |
| 7 | 0.00 | 16.7 | Laguna | BD | TB |
| 8 | 0.00 | 10.0 | Sd | sd | Sd |
| 9 | 0.00 | 8.0 | Sd | sd | Sd |
| 11 | 0.00 | 38.3 | Sotavento central | MD | CE |
| 12 | 0.00 | 13 | Sotavento central | MD | CI |
| 21 | 6.67 | 27.0 | Arrecife frontal | MD | FE |
| 4 | 16.67 | 17.7 | Sotavento | MD | CI |
| 3 | 20.00 | 20.7 | Norte sotavento | PD | CI |
| 1 | 20.00 | 18.3 | Arrecife frontal | BD | FI |
| 22 | 28.57 | 15.0 | Sotavento | BD | CI |
| 2 | 40.00 | 16.7 | Sotavento | MD | CI |
| 14 | 42.42 | 15.2 | Arrecife frontal | PD | FI |

| | | | | | |
|---------------------|---------------|--------------|------------------|----|----|
| 20 | 53.33 | 7.0 | Laguna arrecifal | BD | Sd |
| 23 | 76.47 | 10.0 | Sotavento | BD | TI |
| 10 | 83.33 | 5.0 | Laguna arrecifal | PD | Sd |
| 30 | 88.89 | 26.4 | Arrecife frontal | MD | FE |
| 13 | 90.00 | 14.6 | Arrecife frontal | PD | FI |
| 15 | 120.00 | 5.6 | Cresta Arrecifal | PD | TB |
| 16 | 120.00 | 5.6 | Cresta Arrecifal | PD | TB |
| 18 | 122.22 | 9.0 | Cresta Arrecifal | PD | TB |
| 24 | 133.33 | 18.9 | Arrecife frontal | BD | FI |
| 19 | 160.00 | 7.2 | Laguna arrecifal | BD | Sd |
| 17 | 221.05 | 20.0 | Arrecife frontal | MD | FE |
| 26 | 312.00 | 18.0 | Arrecife frontal | BD | FE |
| 29 | 454.55 | 20.4 | Arrecife frontal | BD | FI |
| 27 | 640.00 | 22.0 | Arrecife frontal | BD | FI |
| 28 | 909.50 | 22.0 | Arrecife frontal | BD | FI |
| 31 | 1409.09 | 5.0 | Laguna arrecifal | MD | Sd |
| 25 | 2801.12 | 17.0 | Arrecife frontal | BD | FE |
| Promedio | 257.07 | 15.68 | | | |
| Desviación Estandar | 562.64 | | | | |

Tabla 7 - Estadística básica para los resultados de densidad (indha^{-1}) de langosta por sitio.

| | N Válida | Mediana | Media | Valor Mínimo | valor Máximo | Dsvn. std | Coficiente variación |
|------------------------------|----------|---------|--------|--------------|--------------|-----------|----------------------|
| densidad indha^{-1} | 31 | 76.5 | 257.07 | 0 | 2801.0 | 562.64 | 2.18 |

La desviación estándar muestra la gran variación en valores de densidad que presentan los sitios dentro de cada estrato de profundidad, lo cual se atribuye inicialmente a las distintas condiciones ecológicas que son determinadas principalmente por la zona fisiográfica y el tipo de hábitat donde se ubica cada sitio. En términos generales en las profundidades de 10m a 20m se concentran las mayores densidades. La profundidad de 15 a 20m, presenta la densidad promedio mayor de todos los estratos con 301.82 indha⁻¹, la cual es un 19% mayor al promedio general 257.07 indha⁻¹ y 38.3% mayor al promedio de la zona somera (<15m) 186.2 indha⁻¹.

7.2 Análisis estadístico

7.2.1 Análisis de frecuencias de densidad:

Como estrategia de categorización de datos, los elementos que se toman en cuenta para determinar las frecuencias de densidad de langostas son el número de veces que se repite el valor en los diferentes sitios, como se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 8 - Frecuencias de densidad de langostas por sitio, a partir de la cual se construyen los cuartiles de densidad considerando percentiles del 25%. BAJA (hasta 6.7indha⁻¹), MEDIA (hasta 76.5 indha⁻¹) ALTA (hasta 160 indha⁻¹) y MUY ALTA densidad (>160 indha⁻¹).

| Densidad | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| 0 | 7 | 22.6 | 22.6 | 22.6 |
| 6.7 | 1 | 3.2 | 3.2 | 25.8 |
| 16.7 | 1 | 3.2 | 3.2 | 29.0 |
| 20.0 | 2 | 6.5 | 6.5 | 35.5 |
| 28.6 | 1 | 3.2 | 3.2 | 38.7 |
| 40.0 | 1 | 3.2 | 3.2 | 41.9 |
| 42.4 | 1 | 3.2 | 3.2 | 45.2 |
| 53.3 | 1 | 3.2 | 3.2 | 48.4 |
| 76.5 | 1 | 3.2 | 3.2 | 51.6 |
| 83.3 | 1 | 3.2 | 3.2 | 54.8 |
| 88.9 | 1 | 3.2 | 3.2 | 58.1 |
| 90.0 | 1 | 3.2 | 3.2 | 61.3 |

| | | | | | |
|--|--------|----|-----|-----|------|
| | 120.0 | 2 | 6.5 | 6.5 | 67.7 |
| | 122.2 | 1 | 3.2 | 3.2 | 71.0 |
| | 133.3 | 1 | 3.2 | 3.2 | 74.2 |
| | 160.0 | 1 | 3.2 | 3.2 | 77.4 |
| | 221.1 | 1 | 3.2 | 3.2 | 80.6 |
| | 311.8 | 1 | 3.2 | 3.2 | 83.9 |
| | 454.5 | 1 | 3.2 | 3.2 | 87.1 |
| | 640.0 | 1 | 3.2 | 3.2 | 90.3 |
| | 909.5 | 1 | 3.2 | 3.2 | 93.5 |
| | 1409.1 | 1 | 3.2 | 3.2 | 96.8 |
| | 2801.0 | 1 | 3.2 | 3.2 | 100 |
| | Total | 31 | 100 | 100 | |

La mediana representa el punto medio (50%) de los datos de densidad (76.5 indha^{-1}) y constituye un parámetro de posicionamiento de los valores, que por no estar sesgado hacia los extremos le permite ser el criterio central para establecer las categorías de densidad por cuartiles. La Tabla 8 de frecuencias muestra los datos de densidad por sitio en términos del porcentaje que ocupan y asocia las densidades de los sitios de manera categórica por cuartiles de densidad: BAJA (hasta 6.7 indha^{-1}), MEDIA (hasta 76.5 indha^{-1}), ALTA (hasta 160 indha^{-1}) y MUY ALTA ($>160 \text{ indha}^{-1}$), donde se garantiza que por lo menos el 25% de los sitios están contenidos dentro de cada categoría. La importancia de establecer dichas categorías es que nos permiten agrupar a los sitios de tal forma que la interpretación de la distribución de los datos de densidad y su relación conforme a criterios de profundidad y zonas fisiográficas se hacen más evidentes.

Tabla 9 - categorías de densidad de langostas clasificadas por cuartiles, de acuerdo a su posicionamiento dentro de la tabla de frecuencias.

| Categorías de densidad por cuartiles | | |
|--------------------------------------|---------------|--------------------------------|
| Cuartiles | 25 % BAJA | Hasta 6.7 indha ⁻¹ |
| | 50 % MEDIA | Hasta 76.5 indha ⁻¹ |
| | 75 % ALTA | Hasta 160 indha ⁻¹ |
| | >75% MUY ALTA | >160 ind ha ⁻¹ |

Para observar la validez estadística de la categorización de los datos se asignaron valores numéricos en orden lógico creciente del 1 al 4 para cada categoría de densidad, BAJA (1), MEDIA (2), ALTA (3) a MUY ALTA (4). Así, cada sitio tuvo un número asignado en función de la densidad que presentó y estos fueron agrupados por categoría. La frecuencia de sitios presentes por cada categoría de densidad, permitió realizar las pruebas de normalidad, de Kolmogorov –Smirnov (0.17702), y Chi cuadrada (8.85) para comparar contra los valores de tablas de referencia. Los resultados de la prueba de normalidad muestran que los sitios (N = 31) con valores asignados para categorías de densidad (Figura 7) presentan una distribución “Normal” que se ajusta la Chi cuadrada con una P = 0.011, lo cual permite realizar un análisis paramétrico de los datos de densidad categorizada.

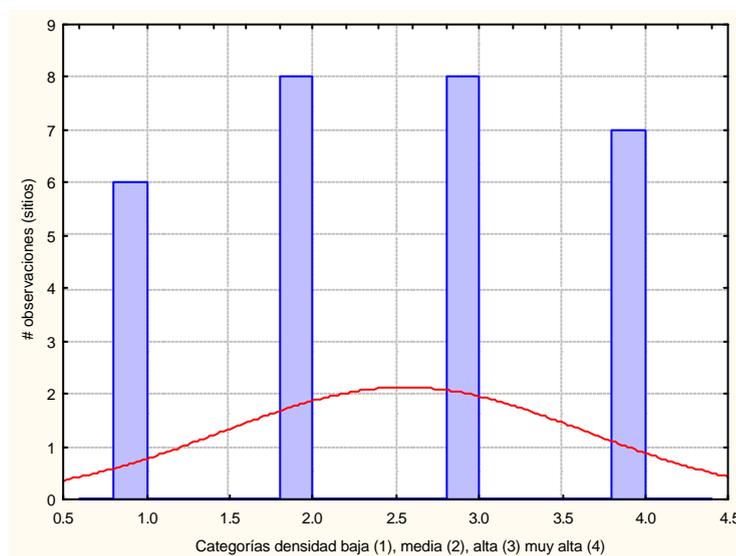


Figura 7 - Frecuencia de sitios observados y clasificados por categorías de densidad de *Panulirus argus*; baja (1) media (2) alta (3) y muy alta (4). Se muestra una distribución normal con ajuste de la Chi cuadrada = 8.85935 con 2 grados de libertad y una p= 0.01192.

7.2.1.1 La relación densidad vs. profundidad

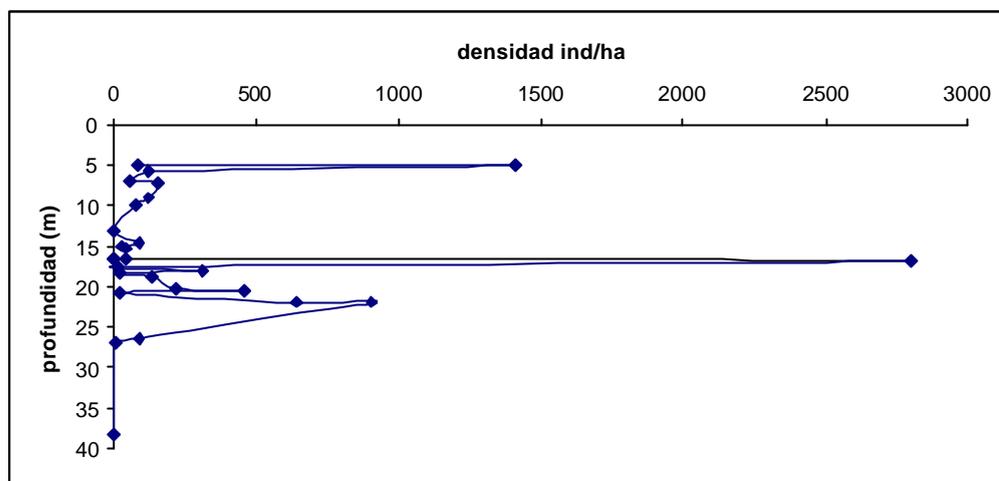


Figura 8 - Perfil de profundidad vs. valores de densidad (indha^{-1}) de langostas *Panulirus argus*, para 31 sitios de muestreo en la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro.

En el perfil de la Figura 8 se observa para cada uno de los 31 sitios muestreados, un valor de densidad de langosta (indha^{-1}) al cual le corresponde una profundidad (m), donde las variaciones son significativas. El patrón muestra que los valores pico (sitios) de más alta densidad, se presentan por debajo de los 15m de profundidad, con la sola excepción del sitio 31 (con $1409.09 \text{ indha}^{-1}$) que se encuentra a los 5m de profundidad dentro de la laguna arrecifal. No se presenta una ecuación que ajuste una tendencia lineal de la densidad contra la profundidad, puesto que también hay sitios profundos ($>15\text{m}$) con niveles bajos de densidad e incluso sin registros de langostas.

Considerando que la profundidad límite de captura de los 15m puede tener implicaciones ecológicas determinantes en la distribución y la densidad de la langosta *P argus* en la RBBCh, los 31 sitios fueron agrupados según sus profundidades de muestreo, en dos estratos: a) de 0 a 15m y b) de 15 a 40m y se calcularon sus promedios y desviaciones estándar como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10 - Se presenta la densidad de langostas promedio calculada conforme a intervalos (0 a 15m, 15 a 40m) de profundidad estratificada, que agrupan sitios de todo el perímetro.

| | <15m (somero) N=12 | >15m (profundo) n=19 |
|---------------------------------------|--|--|
| Promedio densidad indha^{-1} | 186.2 | 301.8 |
| desviación estándar | 388.8 | 655.6 |

La Tabla 10 muestra claramente que en el estrato más profundo (>15m), se encuentra un promedio de densidad mayor ($310.82 \text{ indha}^{-1}$ desviación estándar 655.6 indha^{-1}), que en el estrato de profundidad más somero (<15m) (186.2 indha^{-1} desviación estándar 388.8 indha^{-1}). Sin embargo, para ambos estratos es mayor la desviación estándar que los valores promedio, lo cual indica una varianza y dispersión muy amplia de los datos y poca homogeneidad dentro de cada estrato de profundidad, por lo que es complicado mostrar que existen diferencias significativas (ANOVAS) entre ambos estratos.

La categorización de las densidades por cuartiles de BAJA (hasta 6.7 indha^{-1}), MEDIA (hasta 76.5 indha^{-1}), ALTA (hasta 160 indha^{-1}) y MUY ALTA (> 160 indha^{-1}) densidad, permite visualizar de manera diferente como se agrupan los 31 sitios conforme a los estratos de profundidad (0 a 15m y >15m) correspondientes. Esto se puede observar a continuación en la Tabla 11.

Tabla 11 - Tabulación cruzada de densidad de langostas categorizada en cuartiles contra estratos de Profundidad someros <15m y profundos >15m.

| | | | Profundidad | | Total |
|--------------------------------|---|---------------------------|-------------|-------|--------|
| | | | 0 a 15m | >15m | |
| DENSIDAD dividida en cuartiles | BAJA hasta 6.7 indha^{-1} | Observado | 2 | 6 | 8 |
| | | Esperado | 3.1 | 4.9 | 8.0 |
| | | % sitios dentro categoría | 25.0% | 75.0% | 100.0% |
| | MEDIA de 6.8 a 76.5 indha^{-1} | Observado | 3 | 5 | 8 |
| | | Esperado | 3.1 | 4.9 | 8.0 |
| | | % sitios dentro categoría | 37.5% | 62.5% | 100.0% |
| | ALTA de 76.6 a 160 indha^{-1} | Observado | 6 | 2 | 8 |
| | | Esperado | 3.1 | 4.9 | 8.0 |
| | | % sitios dentro categoría | 75.0% | 25.0% | 100.0% |
| | MUY ALTA > 160 indha^{-1} | Observado | 1 | 6 | 7 |
| | | Esperado | 2.7 | 4.3 | 7.0 |
| | | % sitios dentro categoría | 14.3% | 85.7% | 100.0% |
| Total | | Observado | 12 | 19 | 31 |
| | | Esperado | 12.0 | 19.0 | 31.0 |
| | | % sitios dentro categoría | 38.7% | 61.3% | 100.0% |

Para determinar el grado de asociación de los parámetros de densidad y profundidad, se corrió el análisis estadístico de la Chi-cuadrada cuyos resultados se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12 - Prueba de Chi-cuadrada densidad categorizada vs profundidad

| | Valor | Grados de Libertad | Asymp. Sig. (2-colas) |
|----------------------|----------|--------------------|-----------------------|
| Chi-cuadrada Pearson | 6.840(a) | 3 | .077 |
| Tasa de similitud | 7.059 | 3 | .070 |
| Asociación Lineal | .036 | 1 | .848 |
| Número de Casos | 31 | | |

La prueba de Chi cuadrada nos dice que debe aceptarse la hipótesis de que se guarda una relación entre la profundidad y las categorías de densidad. Es decir que si se repite el muestreo, las proporciones de sitios “esperados” dentro de cada categoría de densidad se van a mantener conforme a los estratos de profundidad de 0 a 15m y >15m con una probabilidad significativa ($P = 0.077$).

Al analizar de manera individual los resultados de asociación entre categorías de densidad y estratos de profundidad se observa que:

- 1) los sitios ubicados en categorías de densidad MUY ALTA ($>160\text{indha}^{-1}$) se agrupan por debajo de los 15m, con una representatividad del 85.7%. Es decir, que en un muestreo aleatorio donde observamos una densidad MUY ALTA ($>160\text{indha}^{-1}$) de langostas, tenemos un 0.86 de probabilidad de que el sitio se encuentre a profundidades mayores a los 15 m. Esto podría tomarse como uno de los hallazgos más importantes de nuestro estudio, dado que responde a uno de los objetivos principales de ésta tesis.
- 2) Al observar otras categorías como las de densidad ALTA (76.6 a 160indha^{-1}) observamos lo contrario a lo esperado, donde el mayor número de sitios 75% se concentran en profundidades menores a los 15m lo cual podría parecer una contradicción con la hipótesis.
- 3) Los sitios de densidad MEDIA (6.7 a 76.6indha^{-1}) se encuentran más equitativamente distribuidos en cantidad, pero favorecen el estrato de profundidades mayores a los 15m.
- 4) Curiosamente también los sitios de BAJA densidad (de 0 a 6.7indha^{-1}) se agrupan en profundidades por debajo de los 15m, lo cual muestra una contradicción aparente en cuanto a como se asocian los estratos de profundidad a las categorías de densidad, ya que lo esperado es que hubiera un mayor número de sitios de BAJA densidad en profundidades menores a los 15m.

Las incongruencias aparentes entre los resultados de la relación estrato de profundidad contra categoría de densidad, pone en evidencia que no es la profundidad el único factor determinante para los niveles de densidad de langostas por sitio. Es claro que deben considerarse parámetros ecológicos como son las zonas fisiográficas, el tipo de desarrollo arrecifal, y el tipo de corrientes que presenta cada sitio, ya que existen ciertas zonas consideradas dentro de un mismo estrato de profundidad que son diametralmente diferentes entre si en términos de densidad. Ejemplo de esto es el arrecife frontal y el sotavento que tienen las mismas profundidades pero valores de densidad muy distintos.

Al tomar en consideración los parámetros de zonación, la relación entre estratos de profundidad y categorías de densidad tienen más sentido, como se puede apreciar en la Tabla 13.

7.2.1.2 Cambio de la densidad vs. zona fisiográfica

Tabla 13 - Tabulación cruzada de densidad (indh⁻¹) de langosta categorizada en cuartiles contra zonas fisiográficas

| Densidad (cuartiles) Indha ⁻¹ | | Zona | | | | | | Total |
|--|---------------------------------|--------|-----------|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------|
| | | Laguna | Sotavento | Sotavento central | Norte sotavento | arrecife frontal | cresta arrecifal | |
| HASTA 6.7Indha⁻¹ | Conteo | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 6 |
| | Conteo esperado | 1.0 | 1.2 | .4 | .2 | 2.5 | .6 | 6.0 |
| | % dentro cuartil densidad | 16.7% | 33.3% | 33.3% | .0% | 16.7% | .0% | 100.0% |
| DE 6.8 a 76.5Indha⁻¹ | % dentro zona | 20.0% | 33.3% | 100.0% | .0% | 8.3% | .0% | 20.7% |
| | MEDIA Conteo | 1 | 4 | 0 | 1 | 2 | 0 | 8 |
| | Conteo esperado | 1.4 | 1.7 | .6 | .3 | 3.3 | .8 | 8.0 |
| | % dentro cuartil densidad | 12.5% | 50.0% | .0% | 12.5% | 25.0% | .0% | 100.0% |

| | | | | | | | | |
|--|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | % dentro zona | 20.0% | 66.7% | .0% | 100.0% | 16.7% | .0% | 27.6% |
| DE 76.6 a 160 Indha⁻¹ ALTA | Conteo | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 8 |
| | Conteo esperado | 1.4 | 1.7 | .6 | .3 | 3.3 | .8 | 8.0 |
| | % dentro cuartil densidad | 25.0% | .0% | .0% | .0% | 37.5% | 37.5% | 100.0% |
| | % dentro zona | 40.0% | .0% | .0% | .0% | 25.0% | 100.0% | 27.6% |
| >160 Indha⁻¹ MUY ALTA | Conteo | 1 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 7 |
| | Conteo esperado | 1.2 | 1.4 | .5 | .2 | 2.9 | .7 | 7.0 |
| | % dentro cuartil densidad | 14.3% | .0% | .0% | .0% | 85.7% | .0% | 100.0% |
| | % d% dentro zona | 20.0% | .0% | .0% | .0% | 50.0% | .0% | 24.1% |
| Total | Conteo | 5 | 6 | 2 | 1 | 12 | 3 | 29 |
| | Conteo esperado | 5.0 | 6.0 | 2.0 | 1.0 | 12.0 | 3.0 | 29.0 |
| | % total de datos por zona | 17.2% | 20.7% | 6.9% | 3.4% | 41.4% | 10.3% | 100.0% |
| | % dentro zona | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |

Tabla 14 - Prueba de Chi-cuadrada para asociación de zonas fisiográficas vs. densidad categorizada

| | Valor | Gl | Asymp. Sig. (2 colas) |
|----------------------|-----------|----|--------------------------|
| Pearson Chi-cuadrada | 30.234(a) | 15 | .011 |
| Tasa de probabilidad | 30.285 | 15 | .011 |
| Asociación Lineal | 4.946 | 1 | .026 |
| N Casos | 29 | | |

La prueba de Chi cuadrada nos dice que debe aceptarse la hipótesis de que se guarda una relación entre las zonas fisiográficas y las categorías de densidad con un 98.9% de confiabilidad. Puesto en otros términos, si se repite el muestreo, las categorías de densidad se van a mantener en las proporciones “esperadas” conforme a las zonas fisiográficas con una probabilidad significativa ($P = 0.011$).

Si bien es cierto que el número de sitios por zona no fue equitativamente muestreado, hay resultados importantes que valen la pena subrayar.

- 1) El arrecife frontal tiene una profundidad promedio mayor a los 15m y es el mejor ejemplo de la relación observada entre los estratos profundos y las categorías de densidad altas. La zona de arrecife frontal representó al 85.7% de los sitios que se encuentran en la categoría de densidad MUY ALTA ($>160\text{indha}^{-1}$). Es decir, para el estrato de profundidad $>15\text{m}$, con densidad MUY ALTA, el 100% de los sitios se encuentran en la zona de arrecife frontal. Solamente el 14.3% de los datos de la categoría MUY ALTA se encuentra en el estrato somero de profundidad $<15\text{m}$ que coincide en la zona de laguna arrecifal.
- 2) Para la categoría de densidad ALTA el 75% de los sitios se encuentran en la zona oriental del Banco Chinchorro en las zonas de arrecife frontal ($>15\text{m}$) y cresta arrecifal ($<15\text{m}$). Todo parece indicar que más allá de la profundidad existen condiciones ecológicas (como corrientes) que por lo menos en el mes de mayo favorecen la presencia de organismos en el lado oriental del banco. El 25% restante de los datos se encuentran en la zona de laguna ($<15\text{m}$).
- 3) La categoría de densidad MEDIA se la reparten principalmente la zona Occidental de la RBBCh (norte sotavento y sotavento) con un 62.5% y el resto de datos se encuentran entre arrecife frontal (25%) y laguna (12.5%). Esta categoría de densidad es de distribución más homogénea.
- 4) La categoría de BAJA 6.7indha^{-1} densidad se concentra en la zona Occidental de la RBBCh (sotavento central y sotavento) con representación de un 66.6% de los sitios, donde cabe notar que la profundidad es mayor a los 15m. A este porcentaje se le suma un 16.7% de los datos de la zona de Arrecife frontal para completar un 83.3% de sitios, cuya densidad es BAJA y que tienen profundidad mayor a los 15m. Ésto explica lo que parecía incongruente de la asociación entre variables del estrato de profundidad $>15\text{m}$ con las dos categorías contrastantes de MUY ALTA y BAJA densidad.

En términos simples podríamos afirmar el supuesto de que la profundidad >15m y la densidad MUY ALTA (>160indha⁻¹) de langostas se asocian positivamente siempre y cuando estemos hablando de la zona Este de la RBBCh, donde la zona fisiográfica de arrecife frontal presenta la mayor densidad. O escrito de otra forma, la zona oeste (sotavento y sotavento central) de la RBBCh muestra una densidad BAJA, independientemente de la profundidad a la que se encuentra.

7.2.1.3 Diferencias entre Zonas fisiográficas

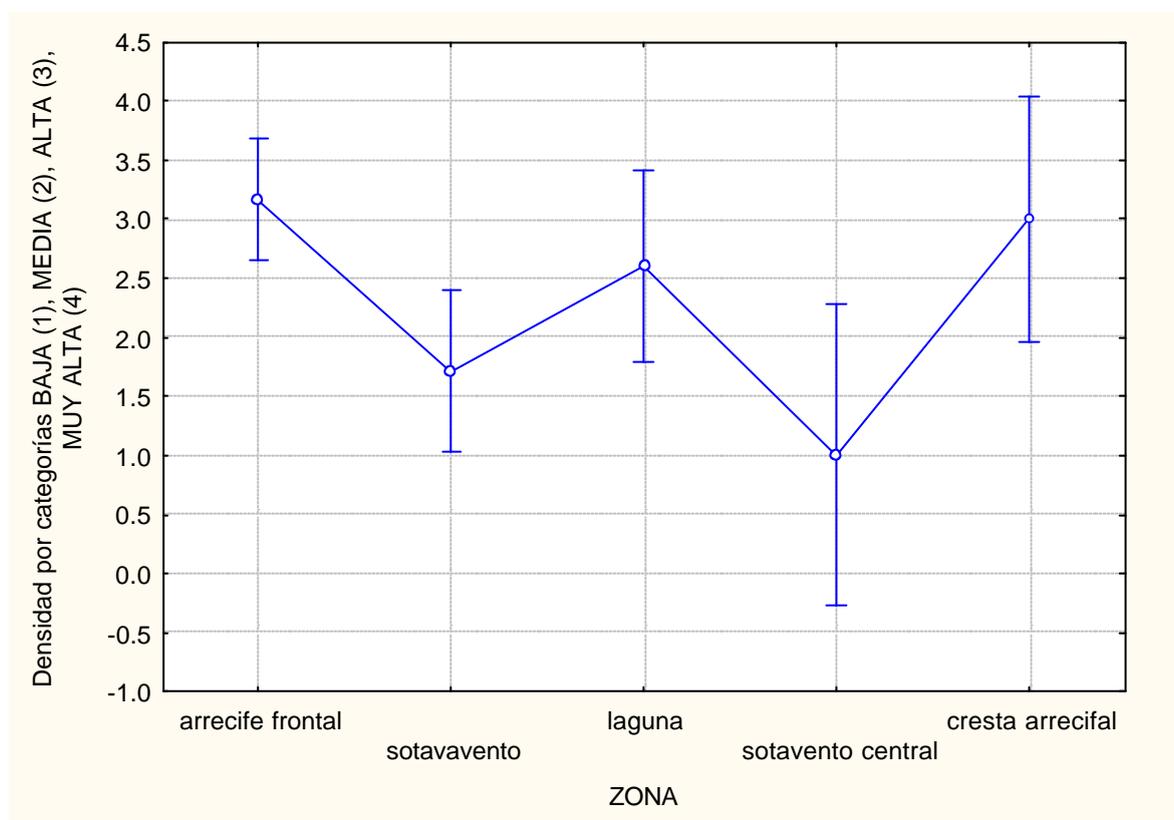


Figura 9 - Representación gráfica del análisis de varianza ANOVA que compara entre las diferentes zonas fisiográficas de la RBBCh, y los valores categóricos de densidad relativa 1=BAJA, 2=MEDIA, 3= ALTA y 4 =MUY ALTA.

Las zonas fisiográficas son significativamente diferentes (ANOVA F=4.87, p=0.005; (Figura 9) En términos de densidad relativa, considerando las variables categóricas de BAJA (1), MEDIA (2) ALTA (3)_y MUY ALTA (4) densidad con un nivel de confianza de (p = 0.005). Este resultado indica que es muy probable que las diferencias en densidad de las langostas se deban a condiciones propias de la ecología de las zonas oriental o barlovento (arrecife frontal y cresta arrecifal) y occidental (Sotavento y Sotavento central).

7.2.1.4 Efecto del Nivel de desarrollo arrecifal vs. categorías de densidad.

Conforme a los criterios planteados en la metodología respecto a los diferentes niveles de desarrollo arrecifal, se aprecia en la Tabla 15 como se agrupan las categorías de densidad.

Tabla 15: Tabulación cruzada densidad indha^{-1} categorizada en cuartiles vs. nivel de desarrollo arrecifal

| | | | desarrollo del arrecife | | | Total |
|--------------------|---------------------|----------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------|
| | | | muy desarrollado | bien desarrollado | poco desarrollado | |
| densidad cuartiles | BAJA 6.7 | conteo | 4 | 2 | 0 | 6 |
| | | esperado | 1.9 | 2.7 | 1.4 | 6.0 |
| | MEDIA DE 6.8 a 76.5 | conteo | 2 | 4 | 2 | 8 |
| | | esperado | 2.5 | 3.6 | 1.9 | 8.0 |
| | ALTA DE 76.6 a 160 | conteo | 1 | 2 | 5 | 8 |
| | | esperado | 2.5 | 3.6 | 1.9 | 8.0 |
| | MUY ALTA >160 | conteo | 2 | 5 | 0 | 7 |
| | | esperado | 2.2 | 3.1 | 1.7 | 7.0 |
| Total | conteo | 9 | 13 | 7 | 29 | |
| | esperado | 9.0 | 13.0 | 7.0 | 29.0 | |

Tabla 16 - Prueba de Chi-cuadrada para búsqueda de correlación entre nivel de desarrollo arrecifal y densidad categorizada por cuartiles.

| | Valor | Grados de libertad | Asíntota Significativa (2-colas) |
|----------------------|-----------|--------------------|----------------------------------|
| Chi-cuadrada Pearson | 13.497(a) | 6 | .036 |
| Tasa de probabilidad | 14.768 | 6 | .022 |
| Asociación Lineal | 1.386 | 1 | .239 |
| N de casos válidos | 29 | | |

En los sitios donde las densidades de langostas fueron BAJAS (0 a 6.7), no importó si el arrecife se encontró POCO, BIEN o MUY desarrollado ya que la mayor parte de estos sitios de densidad se encontraron en la zona de sotavento. En dichas localidades con características de cordillera interior dos sitios presentaron estructuras entre 1 y 3 m de

altura y el resto de los sitios presentaron estructuras mayores a los 3m de altura, que bien podrían fungir como refugios para langostas, sin embargo predominó la ausencia de éstas. El único sitio de BAJA densidad que registró langostas (6.7indha^{-1}), se encontró en el arrecife frontal y presentó características muy desarrolladas con estructuras hasta de 7m de altura.

Los sitios de densidad MEDIA (6.8 a 76.5 indha^{-1}), se presentaron principalmente en Sotavento, pero con un desarrollo de BIEN a MUY BIEN desarrollado, es decir, con estructuras arrecifales que sobrepasaron el metro y llegaron hasta los 3m de altura. Fue curioso encontrar individuos con densidad media en sitios con poco desarrollo arrecifal, pero no es de sorprenderse que uno de estos sitios estuviera en arrecife frontal, ya que en ésta zona (Barlovento-oriental) la mayoría de las localidades se registraron individuos. El otro sitio que parece excepcional se presentó en el Norte Sotavento con estructuras menores a 1m, pero podría explicarse la presencia de individuos dada la profundidad de 20.7m, a los que se realizó el transecto en dicha localidad.

Contrario a lo esperado, más de la mitad de los sitios clasificados con densidad ALTA (76.5 a 160 indha^{-1}), presentan características de “poco desarrollo”, (PD) en estructuras arrecifales. Cabe mencionar que (excepto dos sitios en la laguna), los sitios que caen en dicha clasificación de desarrollo se encuentran todos en la zona oriental/Barlovento, donde se registraron los más altos niveles de densidad. Por esto, el tipo de desarrollo (POCO, BIEN o MUY BIEN desarrollado) de un sitio debe juzgarse en relación a la Zona fisiográfica de mayor escala donde este se encuentra. Por ejemplo los sitios ubicados en cresta arrecifal están en la zona de transición al Barlovento, que constituye la zona mejor desarrollada del Barlovento en Banco Chinchorro. Con un sistema de macizos y canales bien desarrollados, los macizos se extienden unos 100m, tienen altura de 5 a 6 m y están formados por una trama de *Acropora palmata* que se observa desde la base. Es decir, un sitio con características de “POCO desarrollo” dentro de la Zona de transición Barlovento, presenta estructuras que en otras zonas arrecifales serían consideradas como BIEN o MUY BIEN desarrolladas, en relación a la zona fisiográfica donde se presentan.

Los sitios de muy alta densidad $>160\text{indha}^{-1}$, se presentaron en zonas con características de estructuras arrecifales BIEN y MUY BIEN desarrolladas únicamente. En éstas estructuras se presentaron pseudomacizos y macizos de roca calcárea con dominancia de algas. Las zonas más densamente pobladas presentaron macizos aislados desde 6 hasta 9 metros, que contrastaban con el entorno general del área, donde se observan macizos de bajo relieve rodeados por colonias de gorgonáceos y pequeños escleractíneos. Estos refugios de gran tamaño aparentemente fungen como islas de aglomeración, ya que se llegaron a observar concentraciones de hasta 22 langostas en macizos cuyo radio medía 5m (Sitio 25).

En términos generales, se observó que la mayoría de los sitios que presentaron registros de langostas coincidieron con tener estructuras arrecifales BIEN desarrolladas como era de esperarse dado el potencial de refugio. Las excepciones a este principio fueron aquellos sitios que se encontraron en zonas como la transición Barlovento, donde estructuras “poco desarrolladas” también presentaron altas densidades. En dicha zona fisiográfica, las estructuras parecen proveer suficientes refugios para la concentración de langostas independientemente del grado de desarrollo arrecifal que se presente.

Se subraya el hecho de que la escala de clasificación para el nivel de desarrollo arrecifal es relativa a cada zona fisiográfica y no en todos los casos es determinante para la densidad. En sotavento por ejemplo, el grado de desarrollo de la estructura parece no ser el factor determinante para presencia/ausencia de la langosta, ya que hubo varios sitios con buen y muy buen grado de desarrollo donde la densidad fue cero. Por lo contrario, en la zona de arrecife frontal, únicamente bs sitios donde se presentaron estructuras arrecifales bien desarrolladas fue donde se observaron las mayores densidades.

7.2.1.5 Efecto de la Profundidad vs. las Tallas Grandes Reproductivas

Tabla 15 - Número de individuos avistados, ordenados por tallas, sexos y categorías de longitud cefalotorácica (LC).

| | Tallas | 5-10m | 10 -15m | 15 - 20m | >20m |
|---------------------|-------------------------|-------|---------|----------|-------|
| Sexo | Promedio de profundidad | 7.49 | 11.53 | 16.98 | 24.60 |
| Machos | 40-80mm LC | 1 | 1 | 0 | 1 |
| | 80-120mm LC | 23 | 9 | 11 | 12 |
| | 120-160mm LC | 0 | 1 | 16 | 13 |
| | 160-200mm LC | 0 | 0 | 1 | 5 |
| Hembras | 40-80mm LC | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | 80-120mm LC | 10 | 0 | 4 | 8 |
| | 120-160mm LC | 2 | 2 | 2 | 4 |
| | 160-200mm LC | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Hembras ovígeras | 40-80mm LC | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 80-120mm LC | 9 | 5 | 1 | 19 |
| | 120-160mm LC | 2 | 0 | 7 | 0 |
| | 160-200mm LC | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sexo indefinido | 40-80mm LC | 29 | 0 | 1 | 3 |
| | 80-120mm LC | 3 | 4 | 3 | 5 |
| | 120-160mm LC | 0 | 0 | 5 | 3 |
| | 160-200mm LC | 0 | 0 | 0 | 0 |
| total de individuos | | 79 | 22 | 52 | 75 |

Para aquellos sitios donde hubo avistamientos, se construyeron dos categorías que permitieran la clasificación por tallas para observar diferencias según la profundidad a la que éstas se encontraran. Las “Tallas grandes” de langosta (>120mm), agruparon adultos grandes y extra grandes para fines de poder correr un análisis de Chi-cuadrada y observar la relación de éstas con la profundidad.

Tabla 16 - Tabulación cruzada de estratos de profundidad (<15m y >15m) contra categoría de tallas de langostas. La categoría de tallas grandes se estructuró considerando adultos grandes (de 120mm a 160mm) y extra grandes (>160mm). La categoría $\geq 60\%$ implica que el número de individuos de tallas grandes avistados por sitio era mayor al 60%, y por lo contrario la categoría <60% implica que las tallas grandes no superan el 60% de la población avistada.

| | | | Profundidad | | Total |
|----------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------|--------|--------|
| | | | 0 a 15m | >15m | |
| Tallas Grandes | < 60% de los indiv. avistados | Conteo | 12 | 12 | 24 |
| | | Esperado | 9.3 | 14.7 | 24.0 |
| | | % dentro Tallas Grandes | 50.0% | 50.0% | 100.0% |
| | | %dentro Profundidad | 100.0% | 63.2% | 77.4% |
| | \geq al 60% de los indiv. avistados | Conteo | 0 | 7 | 7 |
| | | Esperado | 2.7 | 4.3 | 7.0 |
| | | % dentro Tallas Grandes | .0% | 100.0% | 100.0% |
| | | %dentro Profundidad | .0% | 36.8% | 22.6% |
| Total | | Conteo | 12 | 19 | 31 |
| | | Conteo esperado | 12.0 | 19.0 | 31.0 |
| | | % dentro Tallas Grandes | 38.7% | 61.3% | 100.0% |
| | | % dentro Profundidad | 100.0% | 100.0% | 100.0% |

El grupo de “tallas grandes” (>120mm LC) que incluye a las langostas extra grandes (>160mm LC) fue evaluado para saber en que sitios representaba más del 60% de la población avistada ($\geq 60\%$). Únicamente el 36.8% de los sitios cayeron dentro de ésta categoría, pero de estos el 100% se encontraron por debajo de los 15m de profundidad.

Para ésta correlación la prueba de Pearson de Chi-cuadrada también mostró ser significativa ($P=0.017$) y muestra que las tallas mayores se distribuyen en las profundidades mayores.

Tabla 17 - Prueba de Chi-cuadrada para búsqueda de correlación entre la categoría de tallas grandes y densidad categorizada por cuartiles.

Prueba de Chi cuadrada

| | Valor | Grados libertad | Asíntota (2-colas) | Exactitud significativa (2-colas) | Exactitud significativa (1-cola) |
|-------------------------|----------|-----------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Pearson Chi-cuadrada | 5.711(b) | 1 | .017 | | |
| tasa de similitud | 8.1 | 1 | .004 | | |
| Prueba exactitud Fisher | | | | .026 | .019 |
| Asociación lineal | 5.526 | 1 | .019 | | |
| N, casos | 31 | | | | |

7.3 Observación en campo de capturas y datos pesqueros

Con fines de comprender el funcionamiento de la administración y el manejo de la pesquería se recopiló información bruta sobre la contabilidad, lo cual permitió calcular la captura promedio por pescador, observar la tendencia mensual de la captura, recopilar información detallada acerca del procesamiento del producto, así como validar parámetros como peso promedio, proporción sexual y longitudes promedio de las langostas capturadas por la pesquería.

Al mismo tiempo se recopilaron datos con respecto a la captura histórica mensual de los años 1998 al 2005 para observar cómo se han dado los cambios a través del tiempo. El cálculo de la captura promedio por pescador y la observación del patrón de la captura por mes, permitieron organizar la información con respecto a las estimaciones de crecimiento de *P. argus*, conjuntamente con el análisis de proporción de edad según las tallas de captura.

Se obtuvieron los datos de longitud y peso para el presente estudio para encontrar los valores de la edad relativa que permitiera realizar la estimación de la edad de las langostas y llevar a cabo el análisis de frecuencias de edad y la composición de edades de los individuos capturados. Otro elemento que se consideró relevante para el presente estudio es el coeficiente de mortalidad instantáneo, que llegó a generar una curva de captura de longitud. La mortalidad natural M se obtuvo conforme a lo planteado en la metodología tomando en consideración el valor de la K .

7.3.1 Manejo, estructura administrativa y contable de las cooperativas

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) es directamente responsable de la pesca a nivel nacional y es quien rige a la Comisión Nacional de Pesca CONAPESCA y quien recibe recomendaciones del Instituto Nacional de Pesca (INP), quien a su vez se basa en la información generada por los diferentes centros regionales en el país y que en este caso es el CRIP Puerto Morelos.

Como instancia gubernamental situada permanentemente dentro de la reserva es la SEMARNAT-CONANP quien utiliza la estación científica de Cayo Centro como base de operación para su equipo de trabajo. Desde Cayo Centro el equipo monitorea y administra la reserva con apoyo de dos lanchas con dos motores de 75 caballos de fuerza, un barco de 40 pies de eslora y motor 140Hp y radios de largo alcance. La CONANP reconoce y valida el trabajo de las cooperativas, y junto con PROFEPA procura llevar a cabo inspecciones que garanticen la legalidad, el respeto a las vedas y las buenas prácticas durante las temporadas pesca.

La Secretaría de Marina Armada de México tiene como base Cayo Norte y auxilia a la reserva en algunos operativos contra pescadores furtivos, ya que como parte de las funciones institucionales realiza la inspección de licencias de las embarcaciones. Ésta cuenta con radios y una lancha con motores de 75 caballos para trabajar rutinariamente.

Los órganos que rigen a nivel estatal a todas las cooperativas en cuanto a tomas de decisión, subsidios, acuerdos regionales y nacionales son la Federación Regional de Sociedades Cooperativas De la Industria Pesquera Del Estado de Quintana Roo y el Fideicomiso Pesquero de Quintana Roo, cuyas oficinas se encuentran en Cancún.

El gobierno del Estado de Quintana Roo cuenta con la dirección General de Fomento Pesquero y la Secretaria de Infraestructura Medio Ambiente y Pesca (SIMAP).

La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), es la autoridad encargada de verificar que sean respetadas y llevadas a efecto las normas y regulaciones.

Existen algunas organizaciones civiles dedicadas al monitoreo y conservación de especies marinas, que apoyan con cursos, proyectos y capacitación de los pescadores como son Amigos de Sian Ka'an, Guardianes de Banco Chinchorro y WWF.

La participación académica ha sido clave para definir cuestiones de manejo, ya que se encuentran realizando investigación constantemente ECOSUR, el CIVESTAV Mérida el ICMyL-UNAM, la UQROO, el CICIMAR, entre otros.

La Capitanía de Puerto de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, apoya con la logística de avisos sobre cambios climatológicos de riesgo como son tormentas tropicales, huracanes, etc.

La pesca en la Reserva es exclusiva de tres cooperativas debido a que históricamente han pescado en la zona de forma organizada y han adquirido los derechos y autorizaciones de las instancias gubernamentales correspondientes. En 1983 se organizó la primera cooperativa (Andrés Quintana Roo), con un total de 98 pescadores. Los fundadores de la primera, posteriormente se dividieron para organizar las otras dos cooperativas

pesqueras: Pescadores de Banco Chinchorro en 1985 y Langosteros del Caribe en 1991. Siguen siendo 98 pescadores oficialmente registrados en la Subdelegación Federal de Pesca pero la pesquería de langosta en la actualidad ocupa cerca de 92 pescadores de las tres cooperativas, más una serie de aspirantes que fluctúa alrededor de los 30, sin considerar la sabida presencia de los pescadores furtivos quienes existen a pesar de los esfuerzos interinstitucionales. Esto indica que el número inicial de pescadores no ha variado a pesar de que en el plan de manejo existe autorización para que trabajen 150.

La validación en campo del presente estudio permitió confirmar que en Banco Chinchorro la pesquería opera con un total de tres barcos nodriza de las tres cooperativas Andrés Quintana Roo, Pescadores de Banco Chinchorro y Langosteros del Caribe y 46 pangas. Las cooperativas cuentan con localidades en Chetumal y Xcalac para la estructura administrativa, desde donde opera una secretaria con radio de alcance hasta Chinchorro, el presidente, tesorero y el contador quienes tienen un sueldo fijo que sale de las comisiones. También existen los cargos de secretario del consejo de administración y el de las cooperativas turísticas, pero sus ingresos son mayoritariamente de la pesca. En Chetumal y en Xcalac es donde se hace toda la gestión y el manejo de los recursos financieros para la venta y compra del producto, el hielo y la gasolina y donde reciben su pago por producto los pescadores. Los barcos nodriza son quienes entregan el producto en la playa con previa autorización de los administrativos.

La recaudación de fondos para la administración en la cooperativa Langosteros del Caribe está organizada con base en un porcentaje de la venta por kilo. De este total se descuentan porcentajes de la siguiente manera:

- 10% del dinero del total de kilos va hacia el fondo de retiro. Este es acumulativo, y se guarda para el día en que el pescador decida retirarse, o se le da a la familia en caso de muerte o accidente.
- 6% va a la administración de la cooperativa, que se divide en los sueldo de los empleados. Presidente, tesorero “vocal financiero”, secretario del consejo de administración, secretaria y contador.
- 1% va a la Federación Regional de Cooperativas Pesqueras.
- 10% por kilo se queda de remanente para el fin de la temporada, que se distribuye como a mediados de mayo, donde coinciden la veda del caracol y de la langosta.

La asamblea de la cooperativa sesiona cada vez que sea necesario para resolver problemas que surjan, sin embargo tiene dos asambleas principales: la primera es antes de que se levante la veda al inicio de la temporada, y la segunda es alrededor del 22 de diciembre (antes de Navidad) para realizar el reparto de la canasta y discutir cuestiones administrativas. Aquí el presidente hace el reporte de la producción junto con el vocal financiero y el secretario del consejo administrativo

Presidente de Administración: Percibe un sueldo fijo mensual. El se encarga de atender todos los asuntos administrativos y rendir cuentas ante la Federación de Cooperativas Pesqueras de Quintana Roo, SAGARPA, la CONANP y demás instituciones federales y regionales de competencia. Entre las actividades principales, se encuentran el negociar con los compradores el precio de venta del producto, y realizar los pagos de costos

fijos como son la gasolina, el hielo, el aceite, y pagos extemporáneos como reparaciones mecánicas, y mantenimiento.

Vocal financiero (tesorero): No percibe ingreso por pesca en el campo, únicamente un sueldo fijo mensual. El realiza las cuentas en general, recibe el pago por parte de los compradores, y básicamente corrobora que los pagos realizados a los pescadores correspondan con los registros del capitán del barco nodriza, quien recibe el producto en Chinchorro. Con base en el registro del capitán, el tesorero paga a cada pescador su cuota correspondiente. Para los pagos se emite un recibo y una contabilidad formal.

Secretario del Consejo administrativo: Por parte de la administración recibe un sueldo, pero la mayor parte de su ingreso es por los kilos de pesca. El puesto es más honorable que operativo, pero sirve como enlace con la administración.

Capitanes: El capitán de la lancha, normalmente será el de mayor experiencia en navegación y dueño de la embarcación. Al pertenecerle la embarcación tiene derecho a cobrar una cuota del ingreso total de la lancha. Es decir, la producción total será dividida entre los buzos, el capitán y una parte correspondiente a la lancha en partes iguales. La parte que corresponde a la lancha es proporcional a las demás y será destinada a la reparación y desgaste del motor, radio, equipo de pesca o la lancha en si, y de no utilizarse podrá quedar libre para el capitán. Los capitanes son capaces de recorrer el banco desde Cayo Norte hasta Cayo Lobos, guiándose por el oleaje, el color del agua, el sol y algunos arrecifes que sobresalen como manchones grandes. Ellos son quienes deciden diariamente el sitio de pesca, e indican a los buzos la dirección que deberán seguir. Los criterios que el capitán aplica para definir la ruta y el punto inicial del buceo tienen que ver con el conocimiento histórico sobre la localización de los arrecifes que son resguardo para las langostas y la dirección de las corrientes en dicha área.

El capitán es el responsable de la embarcación y responde con los documentos de registro de la lancha ante las autoridades correspondientes.

Buzos: El número de buzos a bordo de la lancha llega a ser hasta de cinco, dependiendo de cómo se acomode el grupo de trabajo. La búsqueda es relativamente sistemática, ya que los buzos sondean la localidad, se dividen el manchón arrecifal y siguen una línea paralela a la corriente, revisando cada una de las cuevas y posibles escondites. Existen buzos denominados aspirantes cuya situación legal es el derecho a tener un seguro médico más no son considerados como socios cooperativados con capacidad de decisión en asamblea. Por lo general, estos son los más jóvenes, quienes sólo podrán pertenecer a la cooperativa si la asamblea lo decide en sustitución de un socio activo que decida retirarse. La cooperativa deberá notificarlo a la reserva.

7.3.1.1 Manejo y Reglamentación

El manejo en Banco Chinchorro responde a la pesquería del Sector norte del Mar Caribe (México). Ésta se basa en una ley federal que considera todos los recursos marinos e incluye varias especies de langosta a lo largo de las costas mexicanas del Pacífico y del Atlántico (NOM-066-PESC.1993). La captura de langosta está regulada por la talla mínima de 14 – 13.5cm de longitud abdominal (cola), 74.6mm (longitud de caparazón) o 223mm (longitud total) y por las épocas de veda que transcurren durante 4 meses, (del 1 de marzo al 30 de junio). Se tiene autorizado una cuota de 30 toneladas de cola por año para las tres cooperativas. La prohibición de captura de hembras ovígeras también es vigente, así como el buceo con aire comprimido por acuerdo de los propios pescadores.

La Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro (RBBCH) tiene un plan de manejo que está vigente desde mayo del 2000. Éste incluye una sección dedicada al manejo de las pesquerías en la Reserva, y establece con detalle los datos que deben ser colectados en la pesca de la langosta, el propósito de la colecta de datos y su análisis.

Según el Plan de Manejo la pesca del caracol rosado (*Strombus gigas*) es la pesquería más importante en Banco Chinchorro, seguida en orden de importancia por la langosta del Caribe (*Panulirus argus*) y la escama. Cuando este Plan se publicó se decía que el caracol está sometido a un esfuerzo pesquero, que ha motivado la regulación estricta de su extracción, pero en el caso de la langosta del Caribe y la escama la situación no ha llegado a ser tan crítica.

La pesca ilegal - furtiva, de los llamados “pachucheros”, es un problema continuo en el cual están involucrados principalmente pescadores nacionales, pero también extranjeros. Según los pescadores actuales: “La mayoría son excooperativados que fueron destituidos y que ahora se aprovechan de su conocimiento del banco”. Con lanchas de motores de mayor capacidad (arriba de 200 caballos de fuerza) se escapan de las inspecciones, no pagan las cuotas administrativas, y se burlan de las autoridades. Los pescadores cooperativados mencionan que cualquier denuncia realizada por ellos puede repercutir en amenazas y problemas con los furtivos una vez que éstos llegan a tierra firme. Se desconoce con precisión el orden de magnitud del problema, pero se sabe que ocurre todo el año, especialmente en época de veda de langosta y caracol. El problema causa irritación entre los pescadores autorizados, quienes están conscientes de que daña los diferentes recursos, principalmente la población de caracol, y en consecuencia, su fuente de ingresos.

7.3.1.2 Arte de pesca

La embarcación lleva consigo solamente el equipo básico como son: el radio (con alcance de recepción suficiente para la Reserva, Chetumal, Xcalac, Cayo Norte y el resto de las embarcaciones en áreas aledañas a Chinchorro), el motor de sesenta y cinco caballos de fuerza, un contenedor con cincuenta litros de gasolina, una canastilla para poner la langosta, una cubeta para lavar la langosta, un machete y tablón para descolarla, un cuchillo y una madera para hacer sombra sobre la batea central de la lancha que sirve de contenedor para la langosta.

Como ya hemos mencionado el buceo con equipo SCUBA está prohibido por acuerdo interno de las cooperativas, por lo que el buzo solo requiere un visor, snorkel, aletas, camisa de manga larga, un gancho sujeto a un bastón de un metro de longitud y un arpón con varilla para la pesca de escama.

Las embarcaciones promedian siete horas en el agua, por lo que se busca aprovechar la mañana tratando de salir como a las 7:00, una vez que se ha desayunado algo ligero. Pasado el medio día la sombra provocada por el sol quita visibilidad debajo del agua y las corrientes remueven la arena.

Para disminuir el esfuerzo de buceo algunas tácticas de localización de la langosta desde la superficie son el buscar las antenas que sobresalen por fuera del refugio, los rastros de movimiento en la arena y el descartar refugios demasiado chicos para la talla reglamentaria (13.5cm de longitud abdominal). De cualquier forma, la primera inmersión por lo general es para la localización y se requiere una segunda inmersión para extraer la langosta previamente avistada. Por dicho esfuerzo y la visibilidad disminuida bajo el agua, es difícil distinguir sexos, tallas y observar si las hembras son ovígeras. Sumado a lo anterior, el gancho que es utilizado como herramienta de extracción no permite la liberación de la langosta una vez que es capturada, puesto que ésta es perforada en el cefalotórax y muere, por lo que hay hembras ovígeras que son capturadas sin intención.

Las jornadas de trabajo dependen de la disponibilidad de recursos el como hielo y la gasolina abordo del barco nodriza, por lo que éstas jornadas duran aproximadamente de 15 a 20 días de trabajo por 10 de descanso y pocas veces se encuentran todas las pangas simultáneamente trabajando.

Costos: La temporada 2005 inició pagándose a \$300 el kg durante julio y subió a \$310 por kg en agosto. Por kilo solo le quedan al pescador \$160 para reinvertir en despensa y demás gastos. Esto se debe a que del total se le restan \$90 de los gastos del barco nodriza y administrativos (contador, secretaria, presidente, papeleo, seguro), además de \$30 para pago de remanente y \$30 a fondo de retiro. Por viaje de 20 días de barco nodriza, (que abastece a 11 lanchas promedio), este gasta \$7000 en hielo (\$115 por marqueta). Aun considerando que mucha ingestión proteica viene de pescado que ahí se extrae, en un viaje de máximo 25 días, una lancha de 3 pescadores requiere de \$4000 pesos MN promedio para comida y despensa, es decir \$160 por día. Diario se promedian 43 litros de gasolina por lancha que está a \$6 pesos MN lo que equivale a \$258 por lancha/día, más un litro de aceite.

7.3.1.3 Procesamiento

Toda langosta en Banco Chinchorro se captura con gancho y se vende descolada, respondiendo al mercado más común que existe para la exportación y consumo de las zonas turísticas. Los pescadores mencionan que la langosta se llegó a vender entera muerta y viva, como se hace actualmente en la Reserva de la Biosfera de Sian Kaan, pero actualmente esto implicaría tener que cruzar a Mahahual continuamente y cambiar el sistema de los barcos nodriza. El proceso de descolado de la langosta es el siguiente:

1. La langosta se extrae de su resguardo con el gancho.
2. Con guantes se sostiene la langosta para retirar el gancho de la cabeza, y este mismo sirve para atravesar la parte ventral para asegurar la muerte.
3. El capitán, sin apagar el motor, está constantemente atendiendo a los buzos para recoger las langostas que éstos han extraído y aprovecha los tiempos de búsqueda para procesarla.
4. Sobre la lancha, lo primero es quitar las antenas con un machete. Las antenas se parten por la mitad y se echan a una sección de las bateas laterales de la lancha, con agua marina que es cambiada periódicamente para conservarlas a la temperatura del mar.
5. La parte abdominal (“cola”) se retira al introducir un cuchillo filoso que corta la membrana y articulaciones que la une con el cefalotórax.
6. Por el ano se introduce una de las antenas de la langosta, lo cual sirve para extraer el sistema digestivo. Se procura que cuando entre la antena no se dañe la carne que rodea el tracto, y por la parte frontal se jala con la mano.
7. Después la cola se remoja en una cubeta con agua marina limpiando impurezas, procurando no remover la membrana que se encuentra entre la carne y el caparazón, ya que esto provoca el desprendimiento y que la carne disminuya su turgencia y volumen.
8. Por último, dentro de una charola en la batea central se acomodan las colas bajo sombra de una madera, para que ser llevadas hasta el campamento y entregadas en los barcos nodriza.

Existen variaciones que podrían afectar el proceso y la calidad, según los propios pescadores:

a) Algunas embarcaciones por ejemplo no descolan la langosta hasta que llegan al campamento por lo que se suaviza, ennegrece la carne y se mancha la cola.

b) La langosta ya procesada se coloca en diferentes sitios (bateas) de la lancha, aquellos que colocan la langosta en la batea cercana al capitán, corren más riesgo de contaminación por vapor o goteo de gasolina, que aquellos que utilizan la batea central.

7.3.1.4 Comercialización

Todas las cooperativas inciden solamente en la fase extractiva de la cadena productiva, tal y como sucede en la mayor parte de la Península de Yucatán. En general el 90% de la producción de langosta es exportada a Estados Unidos, mientras que el 10% se comercializa en el mercado nacional. La distribución hacia Norteamérica se lleva a cabo por tres vías: la terrestre por trailers con “termoking” que circundan el Golfo de México con destino a Brownsville Texas; la vía aérea con fletes sin refrigeración por el corto tiempo de traslado; y por último la vía marítima en barcos con bodegas refrigeradas, a granel o en contenedores con refrigeración, que son enviados a Miami, Florida. (Arceo et al. 1997).

Para determinar el precio de inicio de temporada existen algunos acuerdos entre los directivos de las tres cooperativas, pero tienen diferencias administrativas para la comercialización. Langosteros del Caribe por ejemplo de los fondos recavados previamente por la administración maneja los costos de operación (gasolina y hielo), mientras que Andrés Quintana Roo y Pescadores de Banco Chinchorro suelen comprometer su producto previamente con un solo comprador, para así tener capital para sustentar los costos de operación. Esto no permite negociar precios de venta del producto que se lleva a la playa, y dificulta el poder de incursionar en otros mercados como el de langosta viva o compradores independientes. También existen ciertos ingresos externos que ayudan a los pescadores como es la venta de la carne que se le extrae a las antenas que se venden a 80 pesos MN el kilo en playa o mercados en Chetumal.

El costo por kilo ha aumentado de 193.3 pesos MN en 1998 a 310 en el 2004, y esto se debe principalmente a que el valor de la langosta se cotiza en dólares. En la Tabla 18 se aprecia el volumen e ingreso por año de 1998 al 2004.

Tabla 18 - Fuente de datos de langosta que se captura en Banco Chinchorro valor y volumen según la subdelegación de pesca en Chetumal. Se calculó el costo aproximado por kilo de los últimos 7 años volumen/ingreso.

| Año | kg Volumen | Ingreso, pesos M.N. | Valor x kilo pesos M.N. |
|------------|-------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| 1998 | 14137 | 2,732,075 | 193.3 |
| 1999 | 20773 | 4,377,560 | 210.7 |
| 2000 | 27319.9 | 6,242,182.5 | 228.5 |
| 2001 | 19877 | 4,667,831 | 234.8 |
| 2002 | 19444.8 | 4,694,548 | 241.4 |
| 2003 | 22975.5 | 5,417,322.5 | 235.8 |
| 2004 | 30997 | 8,806,710 | 284.1 |
| 2005 | | | 310 |

7.3.2 Datos Pesqueros

A partir de los datos recuperados a través de un cruce de información derivada de observaciones en campo y de análisis documental, se organizaron los resultados relativos a los datos pesqueros en los siguientes rubros: captura, proporción de tallas, relación de edad, análisis de frecuencias de tallas 2005 y mortalidad.

7.3.2.1 Captura

La información de la captura anual, (kg. de peso en colas) se constituye a partir de los registros de las tres cooperativas (SCPP) que capturan en la RBBCh. Se observa claramente las fluctuaciones anuales.

Tabla 19 – Se presenta el resumen del reporte de las capturas anuales (kg peso en colas) realizadas por las tres cooperativas de Banco Chinchorro, para el periodo de 1982 al 2004.

| Registro de datos de captura <i>P. argus</i> 1982-2004 | | | |
|---|---------------|-----------|---------------|
| Temporada | Captura (kg) | Temporada | Captura (kg) |
| 1982/83 | 67,021 | 1994/95 | 16,504 |
| 1983/84 | 67,448 | 1995/96 | 19,756 |
| 1984/85 | 41,222 | 1996/97 | 17,511 |
| 1985/86 | 32,926 | 1997/98 | 14,221 |
| 1986/87 | 30,051 | 1998/99 | 16,732 |
| 1987/88 | 24,713 | 1999/00 | 22,882 |
| 1988/89 | 22,673 | 2000/01 | 23,721 |
| 1989/90 | 23,243 | 2001/02 | 18,845 |
| 1990/91 | 23,099 | 2002/03 | 19,474 |
| 1991/92 | 17,576 | 2003/04 | 24,542 |
| 1992/93 | 18,232 | 2004/05 | 30,915 |
| 1993/94 | 16,528 | | |

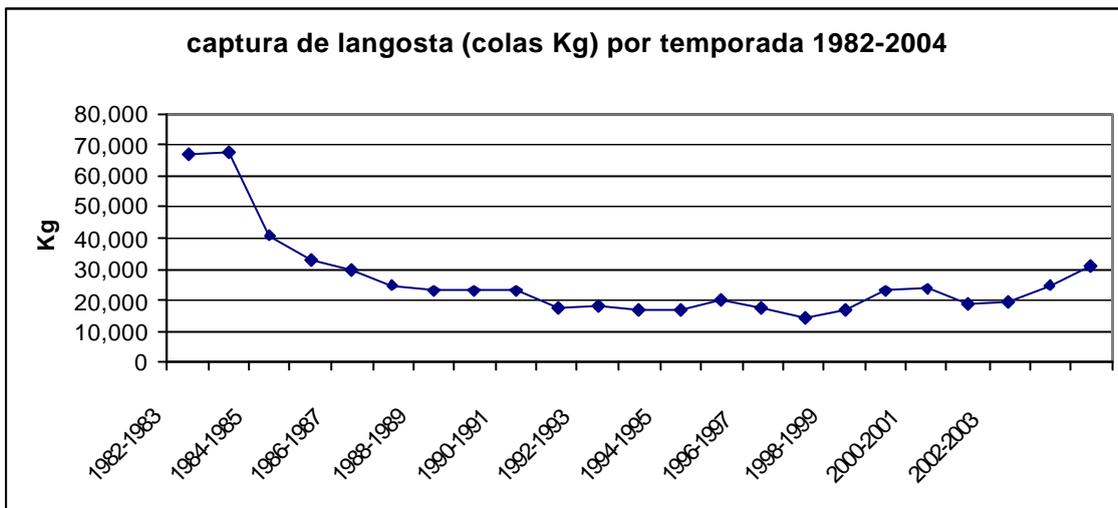


Figura 10 - Tendencia de las capturas kg (peso en colas de langosta) desde 1982 hasta el 2004 en kg.

La Figura 10 elaborada con los datos de la Tabla 19, muestra el comportamiento de las capturas totales registradas por temporada desde 1982 hasta el 2004. De los años de 1982 hasta 1999 el decaimiento de los volúmenes de captura se daba en forma asintótica, hasta llegar a fluctuar cerca de los 20000kg de colas. A partir del año 2000 la tendencia de la captura cambió, e incrementó hacia el 2004. El punto de fluctuación (20,000kg) se logró rebasar hasta por 11,000kg en la temporada 2003-2004. Con los últimos cuatro años cambia la tendencia de la captura hacia un incremento, que puede indicar una ligera recuperación de la población que se encuentra sujeta a la captura, ya que el esfuerzo de pesca se redujo hasta en un mes durante las cinco últimas temporadas Figura 11.

Los registros a bordo de los barcos nodriza y los registros contables en ocasiones difieren de los registros de la Subdelegación de Pesca de SAGARPA, como ejemplo de esto se muestra la Tabla 20.

Tabla 20 - Comparación entre los datos obtenidos directamente de la SCPP langosteros del Caribe 2003-2004, Sociedad Cooperativa Producción Pesquera Pescadores de Banco Chinchorro 2003-2004y los obtenidos de la subdelegación de pesca de SAGARPA Chetumal para los mismos años.

| SCPP Langosteros del Caribe 2003-2004 | | | |
|---------------------------------------|------------|-------------------|--------|
| VALOR pesos M.N | kg SAGARPA | kg registros SCPP | MES |
| 770,150.0 | 3,479.0 | 2115.8 | Jul-03 |
| 459,637.5 | 2,063.5 | 2658.7 | Ago-03 |
| 174,885.0 | 759.0 | 752.1 | Sep-03 |
| 408,830.0 | 1,823.0 | 1771.4 | Oct-03 |
| 278,210.0 | 1,232.0 | 990.6 | Nov-03 |
| 181,680.0 | 676.0 | 489.4 | Dic-03 |
| 342,880.0 | 1,287.0 | 360.4 | Ene-04 |
| 458,100.0 | 1,665.0 | 2043.2 | Feb-04 |
| 3,074,372.5 | 12,984.5 | 11181.6 | TOTAL |
| SCCP Pescadores Banco Chinchorro 2004 | | | |
| Valor Pesos M.N. | kg SAGARPA | kg registros SCPP | MES |
| 254,240.0 | 908.0 | 908.3 | Ene-04 |
| 240,300.0 | 801.0 | 801.5 | Feb-04 |
| 420,210.0 | 1,449.0 | 3648 | Jul-04 |
| 428,340.0 | 1,452.0 | 1510.5 | Ago-04 |
| 644,400.0 | 2,148.0 | 1565 | Sep-04 |
| 0.0 | 0.0 | 2006.5 | Oct-04 |
| 758,100.0 | 2,527.0 | 522.5 | Nov-04 |
| 206,700.0 | 689.0 | 690.5 | Dic-04 |
| 2,952,290.0 | 9,974.0 | 11652.8 | TOTAL |

Continuación de la Tabla 20

| SCPP Langosteros del caribe 2004 | | | |
|----------------------------------|------------|-------------------|--------|
| Valor pesos M.N. | kg SAGARPA | kg registros SCPP | |
| 955,360.0 | 3,594.0 | 2662.5 | Jul-04 |
| 622,640.0 | 2,277.0 | 2356.2 | Ago-04 |
| 625,735.0 | 2,245.0 | 1914.4 | Sep-04 |
| 775,350.0 | 2,820.0 | 1455.4 | Oct-04 |
| 436,610.0 | 1,495.0 | 578.9 | Nov-04 |
| 360,755.0 | 1,277.0 | 1683.93 | Dic-04 |
| 3,776,450.0 | 13,708.0 | 10651.33 | TOTAL |

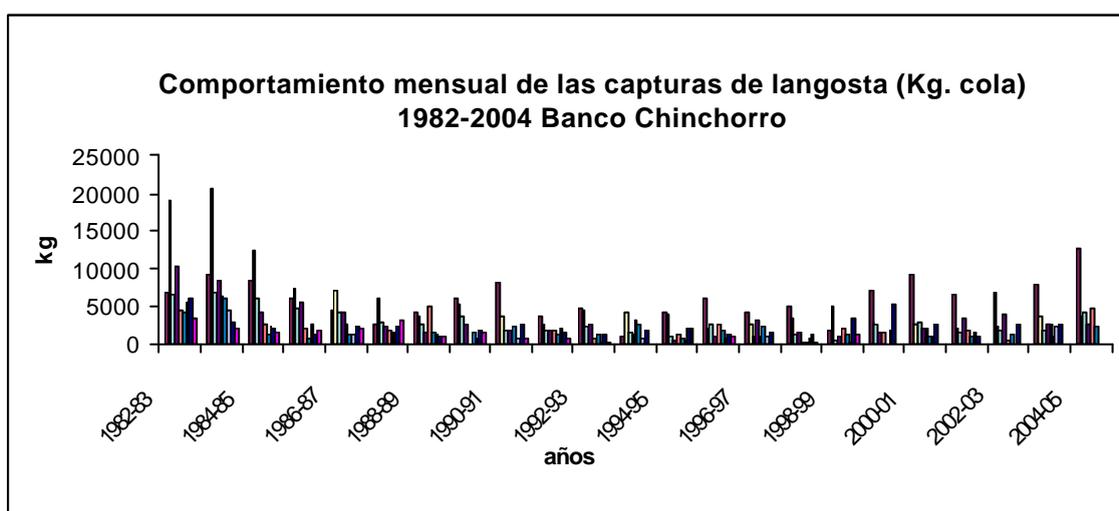


Figura 11 - Se observan las capturas mensuales que siguen un patrón progresivamente descendente conforme avanza la temporada de julio hacia diciembre. Se observan algunas pulsaciones durante enero y febrero, que puede atribuirse a que la actividad pesquera durante diciembre disminuye.

La actividad pesquera se realiza con un carácter multiespecífico y en el caso de la langosta, el esfuerzo sólo se enfoca en los primeros dos meses de la temporada, cuando se abre el periodo de captura a partir del 1 de junio de cada año. Como se observa en la Figura 11, las capturas de los primeros dos meses son significativamente mayores si se les compara con las obtenidas el resto de los meses del año, que progresivamente descienden en cantidad hasta que llega el mes de enero y febrero cuando hay una ligera recuperación dado el reposo de la pesquería el mes de diciembre.

7.3.2.2 Captura por pescador durante la temporada de pesca 2003-04

Tabla 21 - Esfuerzo de captura promedio por pescador Sociedad Cooperativa Producción Pesquera Langosteros del Caribe.

| FECHA | Captura total kg | # pescadores | Captura promedio por pescador kg |
|------------|------------------|--------------|----------------------------------|
| Julio | 2115.8 | 35 | 60.45 |
| Agosto | 2658.7 | 36 | 73.85 |
| Septiembre | 752.1 | 27 | 27.85 |
| Octubre | 1771.4 | 34 | 52.10 |
| Noviembre | 990.6 | 28 | 35.38 |
| Diciembre | 489.4 | 27 | 18.13 |
| Enero | 360.4 | 9 | 40.04 |
| Febrero | 2043.2 | 26 | 78.58 |

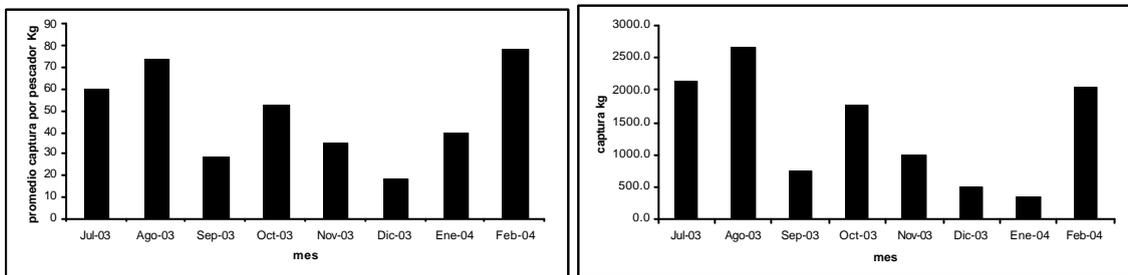


Figura 12 - a) captura promedio por pescador y b) captura total colas (kg) para la temporada 2003 -2004

El patrón de la captura total (kg peso abdominal) en 2004 por mes (a) y la captura promedio por pescador (b) se muestran en la Figura 12. Estos patrones coinciden con la tendencia que se muestra de años anteriores, donde la mayor captura es al inicio de la temporada en los meses de junio y julio, para decrecer gradualmente hacia diciembre. La captura incrementa una vez que ha descansado la pesquería tanto en la veda (marzo a junio) como durante las vacaciones de navidad (diciembre y enero).

Las capturas anuales de 39 pescadores de la SPP Langosteros del Caribe fueron 11,388kg. La captura por pescador varió desde 616kg hasta 7.55kg anuales, con un promedio de 292kg/año y una desviación estándar de 153.15kg/año. El promedio mensual (en una temporada de 8 meses) resulta en 36.5kg/mes por pescador.

Los primeros meses de la temporada (junio y julio) son meses pico y se captura muchos más (60.45 - 73.85kg por pescador al mes) que en los meses de septiembre a diciembre donde la captura decae progresivamente. Los otros meses pico son enero y febrero cuando la captura por pescador sube de 18.13kg/pescador (diciembre) hasta 78.58kg/pescador (febrero) lo cual hace evidente una recuperación en el tamaño de la población sujeta a la explotación. Los valores más altos de captura por pescador coinciden con que la pesquería ha tenido un reposo como la veda (marzo a junio) y las vacaciones de navidad (parte de diciembre y enero). En los meses cuando la pesca se realiza sin tener reposo (septiembre a diciembre), la captura por pescador fluctúa entre 18.13 y 52.1kg, donde la población sujeta a la explotación en zonas de captura (someras <15m), tiene una dinámica propia que muestra un decaimiento rápido conforme se avanza en la temporada.

7.3.2.3 Proporción de Tallas

Análisis de relaciones entre peso y longitud morfométrica en langosta *P. argus* capturada en RBCh durante el periodo de agosto de 2005.

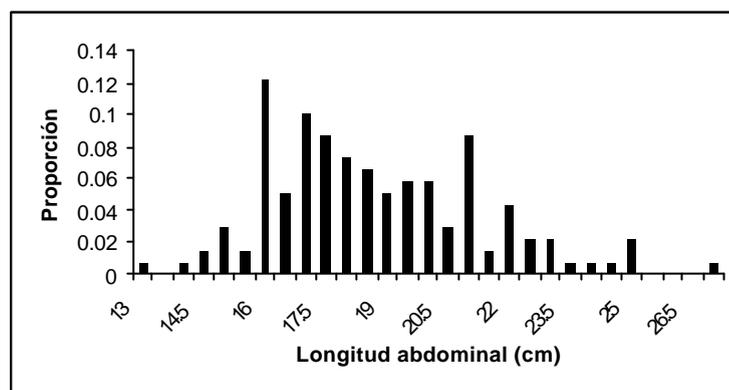


Figura 13 - Estructura de tallas de *Panulirus argus* capturadas en 5 lanchas durante agosto de 2005. La mayor proporción de la población se encuentra entre las longitudes abdominales de 16.5cm y 17.5cm.

Tabla 22 - Resumen de la estructura de tallas (longitud abdominal (cm), peso abdominal (g), longitud cefalotorácica (cm), peso cefalotorácico) y madurez sexual de las hembras de *Panulirus argus* revisadas en la captura de 4 jornadas de trabajo de lanchas de las cooperativas de Banco Chinchorro. La madurez sexual se infiere a partir de la cantidad de hembras con sedas largas (32.6%).

| Hembras N =80. Sedas largas = 26 (32.5%) | | | | |
|--|-----------------|----------------|------------------|-----------------|
| | Long. abdom. cm | Peso abdom. kg | Long. cefalo. cm | Peso cefalo. kg |
| Moda | 17 | 0.240 | 10.5 | 0.400 |
| Mediana | 18 | 0.280 | 10.5 | 0.400 |
| Desv. Std | 2.43 | 0.113 | 1.51 | 0.170 |
| Promedio | 18.6 | 0.304 | 11.1 | 0.452 |

En Yucatán muchos estudios sobre reproducción están basados en muestras de capturas comerciales de langosta, por lo que el criterio que se ha tomado para identificar a las hembras en actividad reproductora es la presencia de sedas ovígeras, que son los filamentos de los endopoditos de los pleópodos donde se adhieren los huevos (González-Cano 1991). Como se muestra en la Tabla 22 el 32.5% de las hembras revisadas presentan sedas largas y podemos decir que se encuentran en actividad reproductora.

Tabla 23 - Resumen de la estructura de tallas (longitud abdominal (cm), peso abdominal (kg), longitud cefalotorácica (cm), peso cefalotorácico (kg), de los machos de *Panulirus argus* revisados en la captura de 4 viajes de trabajo de lanchas de las cooperativas de Banco Chinchorro.

| | Machos N=61 | | | |
|----------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| | Long. abdom cm | Peso abdom kg | Long cefalo cm | Peso cefalo kg |
| Moda | 16 | 0.240 | 10 | 0.400 |
| Mediana | 18.5 | 0.370 | 11.5 | 0.450 |
| Promedio | 18.78 | 0.347 | 11.68 | 0.526 |

Las tablas anteriores corresponden a las observaciones de campo de una muestra poblacional pequeña (n = 142), sin embargo las diferencias en los promedios y la relación peso longitud, confirma lo que la literatura menciona sobre las diferencias morfométricas entre los sexos, donde los machos presentan una mayor longitud y peso cefalotorácico promedio que las hembras.

7.3.2.4 Edad y análisis de frecuencias de tallas 2005

7.3.2.4.1 Selectividad en la captura:

En la Figura 14 se observa la curva de selectividad de la pesquería de *P. argus* en la RBBCCh que representa la forma logística típica. Dada la simetría relativa, se considera que la estimación de la edad media de captura es aquella longitud donde se encuentran el 50% acumulado de individuos, cuyas medidas son 11.1cm de Longitud cefalotorácica (LC), lo cual equivale aproximadamente a 4.26 años de edad.

En la muestra no se encontraron langostas juveniles capturadas en la pesquería y todas las adultas se encontraron por encima de los 8cm de LC. Sin embargo la determinación de la edad de reclutamiento a la pesquería (t_r) en este caso la equiparamos al punto donde se encuentra el primer 5% acumulado de los individuos, buscando tener representatividad y no casos aislados, lo cual equivale a las longitudes de 8.84cm LC cuya edad corresponde a 2.2 años (Figura 14).

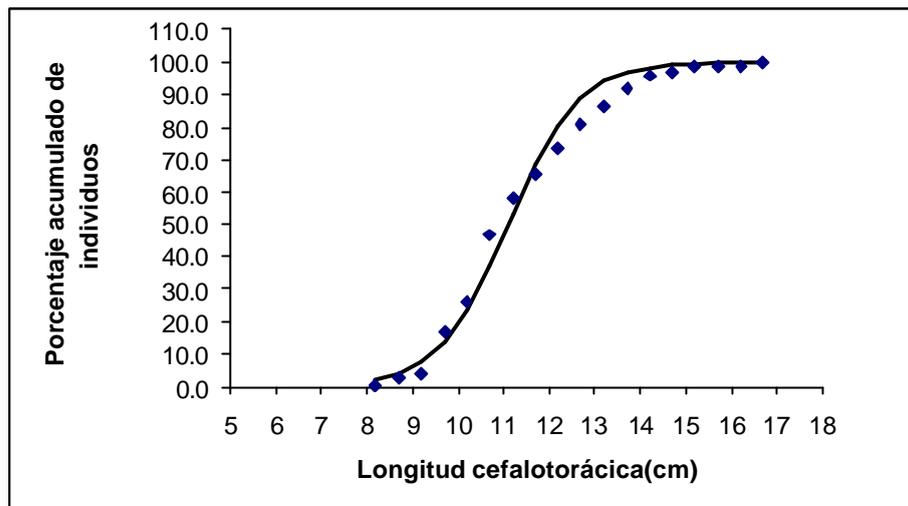


Figura 14 - Curva de selectividad de la pesquería de langosta de la RBBCh con una buena estimación de la simetría. Longitud media de primera captura (50%) = 11.101cm (LC) (4.26 años), Longitud de reclutamiento (t_r) de 8.84cm LC, cuya edad es 3.2 años.

El reclutamiento a la pesquería va a estar determinado por el arte de pesca utilizado, (buceo sin equipo SCUBA que limita la profundidad) y la experiencia de los pescadores en la extracción. No todas las clases de talla presentes en la RBBCh son igualmente capturables, ya que las langostas menores a los 13.5cm de longitud abdominal (aproximadamente 7.6 o 7.5cm de LC) no deben ser capturadas por respeto a la normatividad. Estos factores determinan la selectividad en la captura en la RBBC h.

7.3.2.4.2 Datos de Edad

En la Figura 15 se muestra la relación edad (t) longitud cefalotorácica L_c que se calculó con el despeje de la ecuación de *Von Bertalanffy* y los parámetros de $K= 0.2405$ año⁻¹, $L_8 = 183.6$ mm y $t_0 = 0.45$ años.

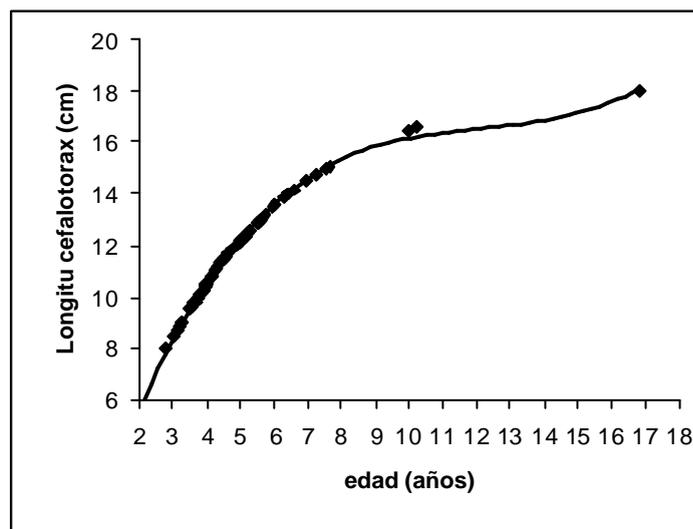


Figura 15 -Longitud cefalotórax L_c (cm) en función de la edad en años (t) según $K= 0.2405$ año⁻¹, $L_8 = 18.36$ cm y $t_0 = 0.45$ años.

Por medio de la relación obtenida de edad contra longitud cefa lotorácica se realizó el histograma de frecuencias de individuos donde observamos que la mayor parte de los individuos que son capturados en la zona somera sujeta a explotación se encuentran entre los 2 y los 4 años de edad.

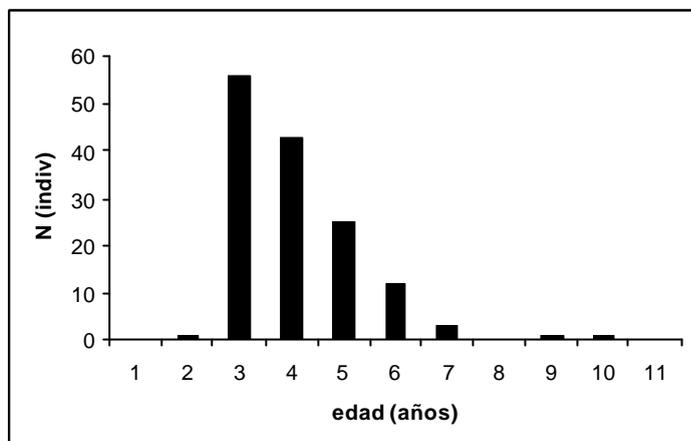


Figura 16 - Histograma de frecuencias de edad (t) de la población capturada de *Panulirus argus* con base en datos de la tasa de crecimiento.

7.3.2.5 Mortalidad (F) estimada en la temporada 2005

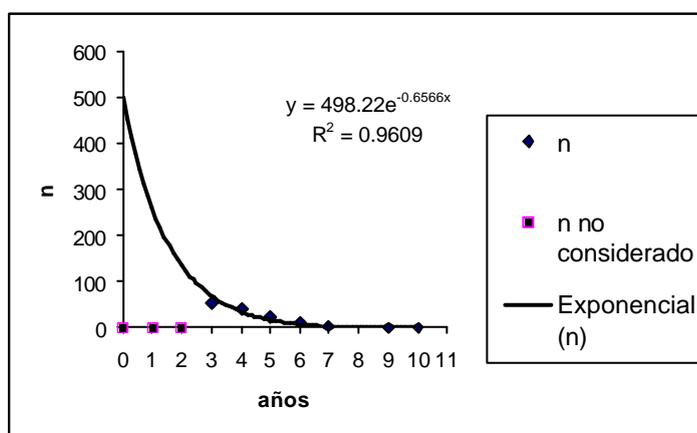


Figura 17 - Curva de longitud de la captura transformada a edad para los datos obtenidos en la pesquería en agosto de 2005. La ecuación responde a $N_t = 4.982 e^{-0.657}$ con un ajuste de $R^2 = 0.96$, con una $Z = 0.657$.

Para la curva de captura de decaimiento de la longitud transformada se excluyen: a) los puntos que representan los grupos de individuos que no se encuentran totalmente reclutados o son demasiado pequeños para ser totalmente vulnerables al arte de pesca. b) los puntos de edad donde los datos son demasiado pequeños.

A partir de la ecuación de $N_t = 4.982 e^{-0.657}$, podemos concluir que la mortalidad total para el 2005 es:

$$\mathbf{Z = 0.657.}$$

Sabemos que la mortalidad natural M se obtuvo de la $k = 0.24$ (de León et al. 2005) multiplicada por el factor de conversión de 1.5 recomendado por (Jansen 1996) donde:

$$\mathbf{M = 1.5 (k) = 0.36}$$

Por lo que la mortalidad por pesca $F = Z - M$; resultando en $F = 0.657 - 0.36$:

$$\mathbf{F = 0.297}$$

7.4 Modelo de FISMO (Fishery simulation Model)

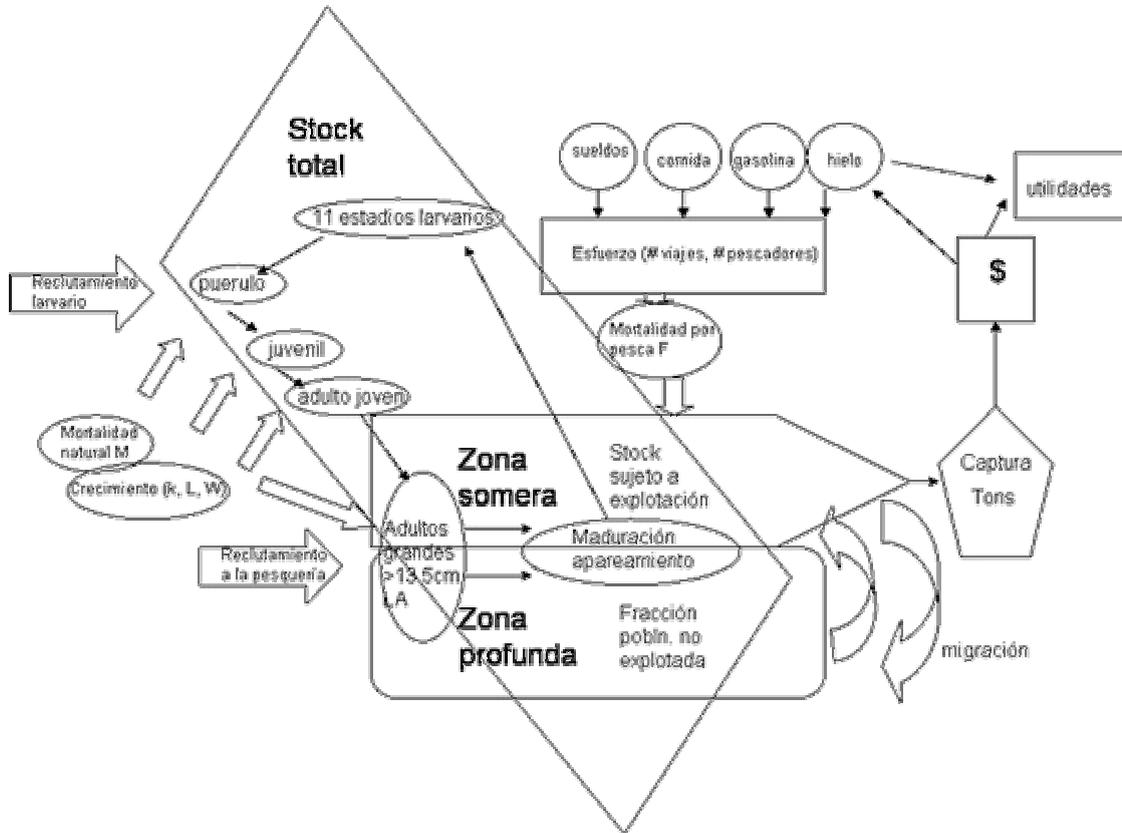


Figura 18 - representación gráfica de los parámetros pesqueros (F, M, esfuerzo, captura); biológicos (k, longitud (L), peso (W), reclutamiento, ciclo de vida); ecológicos (migración de zonas profundas y someras) y económicos (costos de operación, ingreso, utilidades), que afectan la pesquería de la langosta *Panulirus argus* en la RBCh.

7.4.1 Resultados del FISMO

7.4.1.1 Ajuste del modelo

En la se observa la relación de *stock*-biomasa, *stock* explotado, y el número de reclutas de un año de edad que se reconstruyó a partir del modelo de simulación, donde se muestran los cambios que ocurren en el tiempo, provocados por eventos aleatorios (probablemente climáticos) y por el esfuerzo pesquero. La captura fluctuó cerca de las 20 toneladas a lo largo de las quince temporadas, con un pequeño incremento en las últimas cuatro temporadas, desde 19 hasta 31 toneladas. El ajuste del modelo se realizó asumiendo que la pesquería está explotada a su máxima capacidad con una tasa inicial de explotación constante de 0.29 por año ($FMSY = 0.15/\text{año}$); donde los valores de $F > 0.15$ produjeron los rendimientos menores. El próximo paso para ajustar el modelo a cada año fue estimar el número de reclutas, y así el último ajuste se realizó cambiando la F. El número de reclutas

muestra un contraste con la biomasa del *stock*, donde se encuentra alto durante los años cuando la biomasa fue baja y viceversa.

La biomasa explotable y la captura muestran una alta variabilidad probablemente debido a cambios en la capturabilidad a lo largo del tiempo, o quizá también causados por fluctuaciones asociadas a factores ambientales. Este es uno de los *stocks* pesqueros más valiosos del Caribe, donde la captura más alta que se registró en Banco Chinchorro en los años 1982-/83 fue de 67.5 toneladas, y la captura menor en 1997 con 14.2 toneladas. Las capturas registradas a principios de los ochenta podrían establecerse como una meta a alcanzar por parte de la pesquería.

7.4.1.2 Stock de reclutamiento

La reconstrucción de la población a partir del número de individuos de edad I indica que sus números oscilaron cerca de los 25,000 durante los primeros años de la serie, pero durante la última mitad de dicho periodo excedió los 220,000. El número de reclutas muestra un contraste con la biomasa del *stock* con valores altos cuando la biomasa estuvo baja y viceversa.

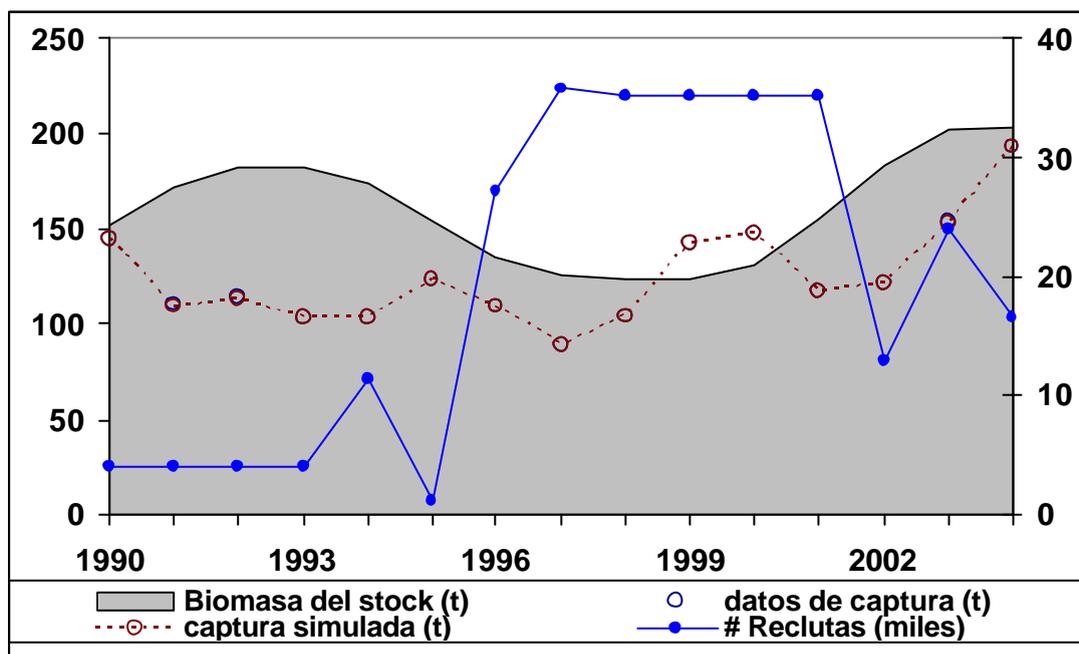


Figura 19 - Relación entre la biomasa del *stock* de *Panulirus argus*, los registros de captura, y captura simulada (ton) área gris = biomasa del *stock*, escala izquierda; líneas con puntos rellenos, número de reclutas (miles) escala izquierda; Círculos = datos de captura, escala derecha; líneas punteadas = captura simulada (escala derecha).

7.4.1.3 Captura potencial

Al reconstruir la historia de la pesquería con los valores actuales (Figura 20) se encontró que en 1999 debió haber poca utilidad (\$-16,339.00), pues la razón beneficio costo de $B/C = 0.97$, sin que necesariamente se acepte que la pesquería operó con pérdidas en ese año, esto sugiere, que la pesquería no se encontraba financieramente bien. Esto se explica en parte porque no hay registros de captura para diciembre de ese año y en parte por que en ese año la mortalidad por pesca alcanzó el mayor valor de esos años, cuando los costos pueden haberse elevado por un aumento en el esfuerzo pesquero (número de viajes). La evidencia que fundamenta dicha interpretación lo muestra la tasa de explotación (E), donde se observa que durante dicha temporada la biomasa estuvo baja y la tasa de explotación $E = (45\%)$ que fue la mayor de la serie de 15 años examinados; además, durante dicha temporada la biomasa estuvo baja.

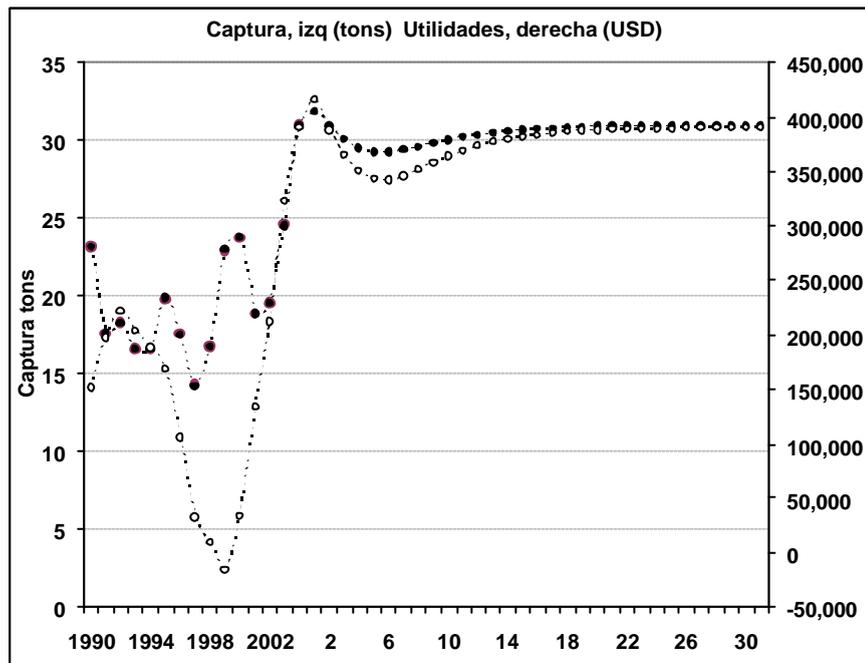


Figura 20 - Reconstrucción de datos históricos y 30 años de simulación de la captura y utilidades de la pesquería de langosta espinosa *Panulirus argus* en la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Captura: círculos negros escala izq; utilidades círculos abiertos escala derecha.

La estimación de la captura óptima, que se buscó con la relación entre captura potencial, los beneficios económicos potenciales, los indicadores socio-económicos como tamaño de la flota (pangas), la relación beneficio/costo y el número de pescadores, para una combinación mayor de valores de F y t_c se muestra en la (Figura 21). La distribución de ésta serie de valores deben servir para compararlos con los valores actuales, lo cual permitirá la reorientación y optimización de las estrategias de pesca.

Al considerar las edades de primera captura que producen el máximo rendimiento ($t_c = 2$ y 3 años), se escogió $t_c = 3$ por que da un margen de apoyo en cuanto a la conservación del *stock*. La captura máxima sostenible $MSY = 32.1$ ton, se logra obtener con $F = 0.15$ (Figura 21); sin embargo este es sólo un valor de referencia extremo en el límite de la sobrepesca y no implica que debería tomarse como meta de manejo.

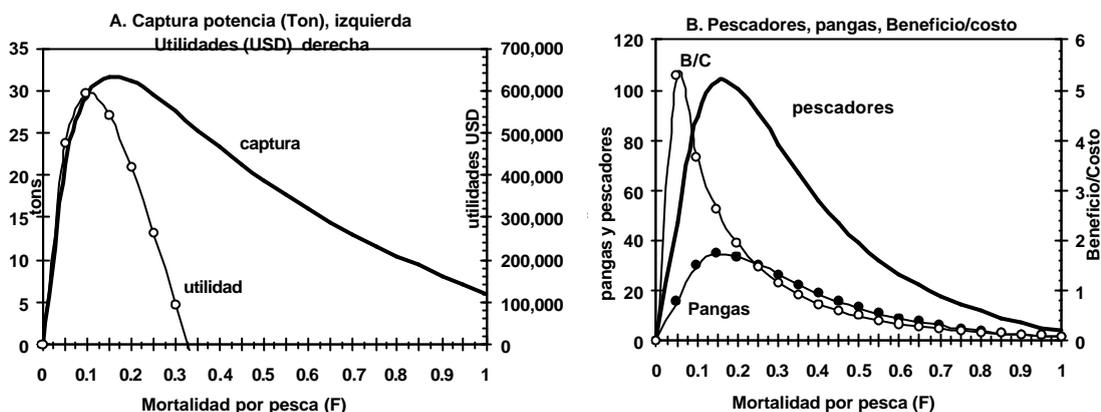


Figura 21-A) La captura potencial biológica máxima (Y_{MSY}) de *Panulirus argus*, en función de la edad de captura y la mortalidad por pesca. Corresponde a los últimos años de simulación, la captura máxima (31.6 ton) se logra obtener con la presión por pesca de $F=0.15$ y $t_c=3$ años. Este escenario aportaría una utilidad máxima de \$543,011. Sin embargo el máximo rendimiento económico, se podría obtener al reducir F a $F_{MEY} = 0.1$ con \$592,846; en este momento la captura sería de $Y_{MEY} = 29.4$ t. B) Los indicadores de beneficios económicos potenciales (B/C), número de pescadores y número de barcos en función de la mortalidad por pesca. La edad de primera captura corresponde en este caso a 2 años; la respuesta de la pesquería cambia en función de ésta variable, aunque mantiene aproximadamente la misma tendencia.

Las simulaciones realizadas con una amplia serie de valores de F y t_c , sugieren que la biomasa actual tiende a producir los valores máximos de captura con $F < 0.3$ y $t_c = 2$ o 3 años, los cuales decrecen aceleradamente conforme se incrementan los valores de F y t_c (Figura 22).

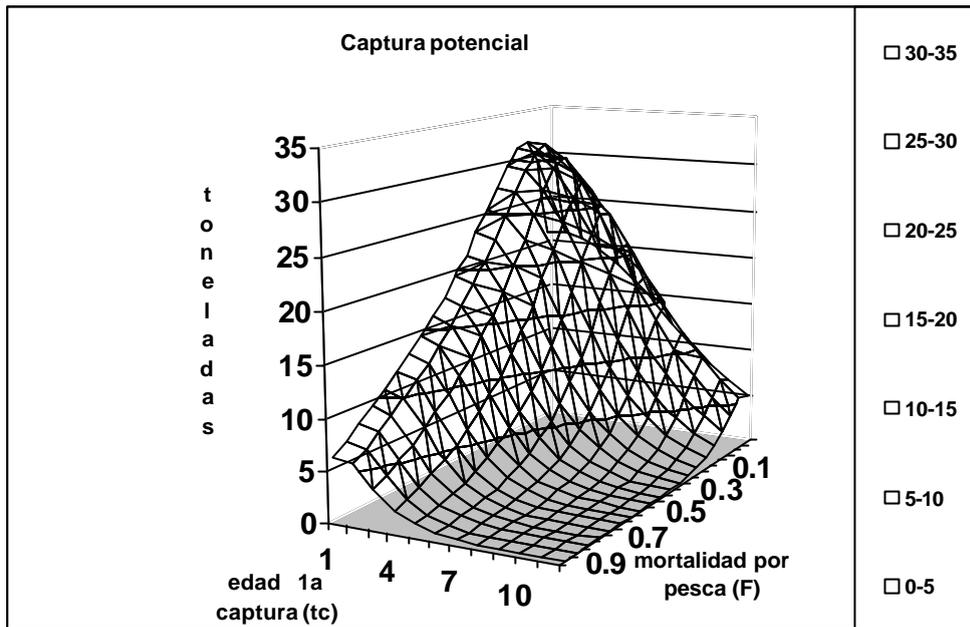


Figura 22 - Captura potencial en función de la edad de primera captura (tc) y la mortalidad por pesca (F) de la langosta *Panulirus argus*. Las capturas mayores ($Y > 30$ t) se obtienen con $1 > tc < 3$ y $0.05 < F < 0.3$.

7.4.1.4 Rendimiento económico potencial

La parte económica de la pesquería que es analizada en este documento se basó en los datos de captura y costos por viaje para el año 2004, cuyos detalles se muestran en la Tabla 24; los costos de pesca dependen de las estimaciones de los valores de F para cada año. Para el 2004 se calcularon aproximadamente 2691 viajes, los cuales se consideraron como el esfuerzo pesquero necesario para llegar a una mortalidad por pesca calculada de $F = 0.209$. Con ambos datos llegamos a un índice de captura $q = F/f$, donde $q = 7.803 e^{-5}$. Este fue base para calcular el número de viajes realizados para cada temporada, a partir de las mortalidades por pesca (F) previamente obtenidas para todos los años de la serie histórica.

Tabla 24 - Indicadores sociales de la pesquería de la langosta de Banco Chinchorro, México. Datos de la pesquería de la temporada 2004-2005, con referencia al número de pescadores y administradores que dependen de la pesquería de langosta. Los valores se expresan en dólares (USD). Los costos y beneficios se transformaron de pesos mexicanos (MN) a USD a una tasa de cambio \$10.8 pesos MN por dólar.

| Concepto | Producto | Por lancha | Total |
|---|-----------------|-------------------|-------------------|
| Comida | 13.60 | | |
| Gasolina | 258.00 | | |
| Hielo | 2.71 | | |
| Costos administrativos/kg | 5.08 | | |
| Captura/pescador/día, kg | 3.78 | | |
| Captura/lancha, kg/día | 9.45 | | |
| Captura/pescador/temporada, kg | ----- | 315.3 | |
| Captura total (2004), kg | ----- | 30,900 | |
| Número de lanchas/pangas | ----- | 33 | |
| Número de viajes diarios por mes | ----- | 10.2 | |
| Esfuerzo de pesca por mes, viajes diarios | ----- | 336 | |
| Esfuerzo de pesca, por temporada (8 meses) | ----- | 2,691 | |
| Numero de pescadores | ----- | 98 | |
| VALOR TOTAL DE CAPTURA (\$25.42/kg)--- | | 858,336 | |
| COSTOS TOTALES | ----- | 469,041 | |
| Costos de administración (20% de cada kg) | ----- | 71,667 | |
| (Remanente, fondo de retiro, gastos contables, gasolina, hielo, y mantenimiento (30%)) | ----- | 257,500 | |
| Comida, USD/día | 14.82 | 39,865 | |
| UTILIDADES (Valor de captura -Costos) | | ----- | 389,295 |
| <u>BENEFICIO/COSTO</u> | | ----- | <u>1.8</u> |

Los valores estimados indican que según la respuesta del *stock* que se muestra en la Figura 19, la pesquería es rentable hoy día, produciendo utilidades cercanas al 389,295 USD al año (Figura 20). La captura con el potencial económico máximo MEY = 592,846 USD se logra obtener con la $F_{MEY} = 0.1$, lo cual es, 33% menos esfuerzo (número de días de pesca) que el F_{MSY} y 52% menor que el esfuerzo actual; por lo anterior, F_{MEY} podría ser una meta adecuada de manejo, que además permite un buen margen de seguridad para que la pesquería pueda lidiar con malos años cuando se incrementan las posibilidades de sobre explotación del *stock* por causa de un reclutamiento disminuido. Lo complicado es buscar una manera apropiada de llegar a la F_{MEY} con reducciones pequeñas del esfuerzo de pesca

que logren conciliar una reducción en la F , sin provocar una crisis social. Existen otros indicadores que muestran que los niveles de F_{MEY} , y la razón $B/C = 3.76$ pueden obtenerse con 30 pangas y 90 pescadores. Al explorar la respuesta del *stock* con un rango de valores de t_c y F , fue evidente que las capturas que sobrepasan las 30 ton se pueden obtener con niveles bajos de éstas variables, como, $t_c < 4$ años y $F < 0.3$ (Figura 22).

Cuando la respuesta de la pesquería y su desempeño económico fue explorado bajo una variedad de valores de F y t_c , los resultados muestran que la pesquería es rentable dentro de un rango muy pequeño de variables de control ($F \leq 0.3$ y t_c 2-3) con un máximo de \$587,567 con $F = 0.1$ y $t_c = 2$ Figura 23. Asimismo, la tasa más alta de la razón B/C es (>5 veces el costo de explotación) cuando $t_c = 1 - 4$ años y $F \leq 0.1$ (Figura 24).

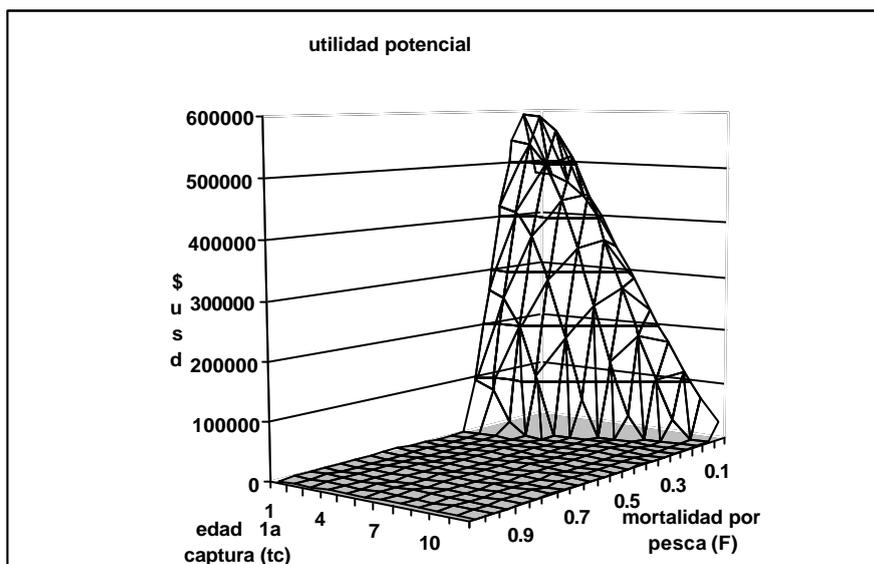


Figura 23 - Las variables económicas (utilidades) de la pesquería de la langosta *Panulirus argus* en función de la mortalidad por pesca F y edad de primera captura t_c .

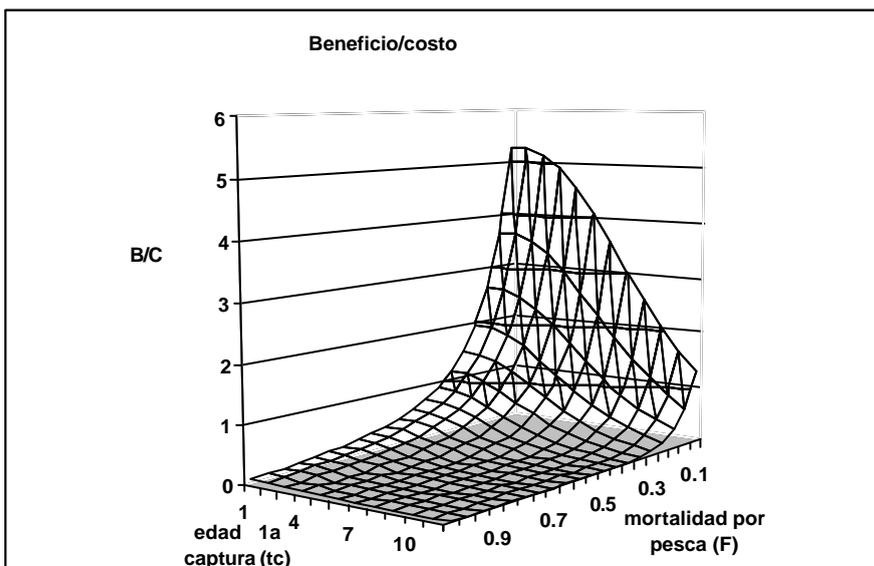


Figura 24 - Las variables económicas Beneficio/costo de la pesquería de la langosta *Panulirus argus* en función de la mortalidad por pesca F y edad de primera captura y tc.

7.4.1.5 Tamaño de la flota

El número total de lanchas considerado en la pesquería, se obtuvo tomando como parámetro a la SCPP Langosteros del Caribe, que representa cerca del 55% del total de las capturas de las tres SCPP. La información obtenida de los pescadores Tabla 24 muestra que el tamaño de la flota se compone por lo general de 33 lanchas y los 3 barcos nodriza, donde cada panga realiza de 10.2 a 17 viajes diarios por mes. Es decir, en una temporada de ocho meses las tres cooperativas realizan en total 2,691 viajes.

La edad de primera captura tc y la intensidad de pesca necesarias para mantener las condiciones actuales requieren de una mortalidad por pesca no mayor a $F=0.29$ y una $tc=3$ años, como se muestra en la Figura 25. Esto muestra que para mantener >30 lanchas en actividad, se requiere que $0.05 > F < 0.3$ y una $tc < 3$.

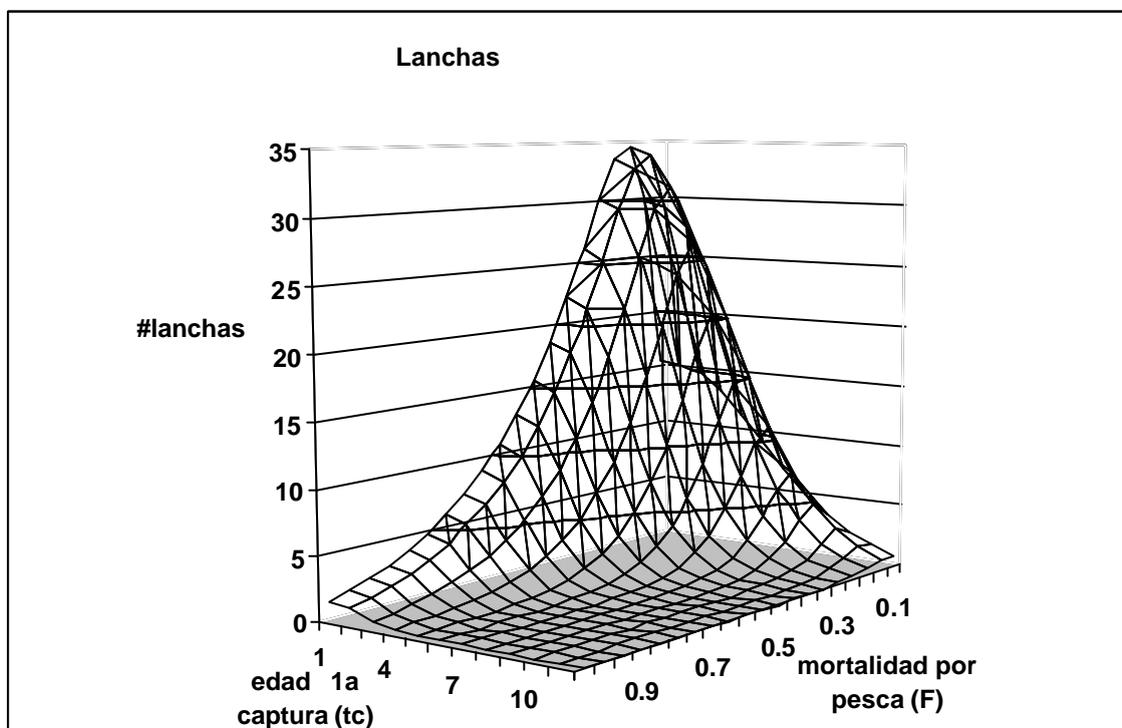


Figura 25 - Efecto de la mortalidad de pesca (F) y edad de primera captura (tc), sobre el tamaño de flota (número de lanchas). El número máximo de lanchas que soporta la pesquería de langostas para mantenerse como actividad rentable es 35 lanchas con $F = 0.15$ y $tc = 2$ y 1 años respectivamente.

7.4.1.6 Beneficios sociales

La tendencia del número de pescadores y número de empleados se comportan de manera idéntica en función de la F y la t_c . Nuevamente, así como se calculó la captura potencial y la flota, los máximos beneficios sociales que se entienden como empleados directos (114 pescadores) se encuentran con una $F = 0.15$ y una $t_c = 1$ año. Sin embargo sabemos que una t_c de un año es poco viable considerando que los organismos no han alcanzado la madurez sexual. El número actual de pescadores se obtuvo al multiplicar el número de lanchas por 2.7 (promedio de pescadores por panga) y una suma de 12 (pescadores en barcos nodriza), lo cual resultó en 98 empleados directos (Figura 21). Considerando la F y los valores de t_c que proveen un alto número de empleos, para mantener más de 95 y hasta 114 pescadores en actividad, el modelo sugiere que se apliquen $0.1 > F < 0.25$ y una $t_c \leq 3$ (Figura 26). Estos resultados son estimaciones válidas en términos numéricos, pero biológicamente implican que los individuos ($t_c=1$ y 2 años) sean capturados antes de la edad de madurez, lo cual no es recomendable para la pesquería y deberá ser una consideración en el análisis. Ésta opción con $t_c=1$ y 2 años, es aceptable solamente si se mantienen valores bajos de la F , para garantizar que el número de adultos remanente reponga a la población mediante el proceso reproductivo.

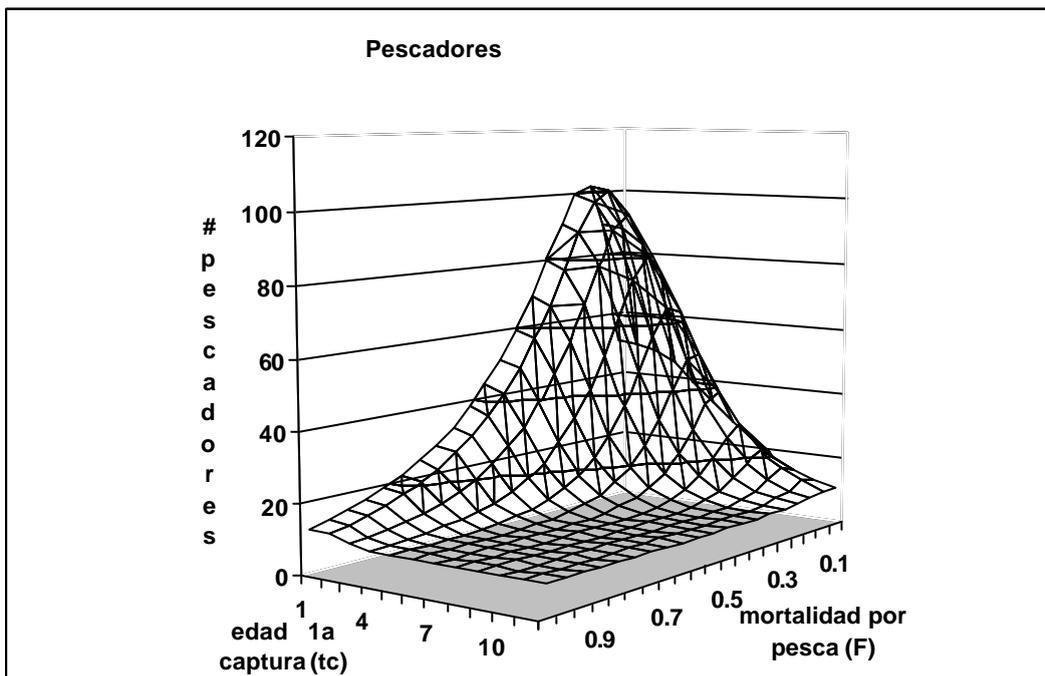


Figura 26 - Efectos de la intensidad de pesca (F) y edad de primera captura (t_c) de langosta, sobre el número de pescadores. El número máximo de pescadores que soporta la pesquería con una actividad rentable es 113 y 114 pescadores con $F = 0.15$ $t_c = 2$ y 1 años respectivamente.

7.4.1.7 Diagnóstico de la pesquería

El proceso de reconstrucción de la pesquería: la biomasa del *stock*, la estructura de edades y los indicadores socioeconómicos del periodo histórico, permitieron realizar un diagnóstico de su condición para las últimas 15 temporadas de pesca. Un procedimiento que se adoptó para examinar el estado histórico del *stock*, fue identificar la tasa de explotación E obtenida en el nivel de F_{MSY} , donde $E = [F_{MSY} / (M + F_{MSY})]$, y fijarlo como el punto de referencia límite para todos los años. Este nivel de E en F_{MSY} se comparó con la estimación de E para cada temporada, que se obtuvo utilizando los valores de F encontrados para cada año. El diagnóstico histórico de la condición del *stock* se observa en la Figura 27, donde la captura se encuentra representada por barras. Ésta figura nos dice que el *stock* estuvo subexplotado durante las temporadas de 1990-91 hasta 1993-94 para después ser sobreexplotada; en particular se observa que la temporada 1999-2000 la E llegó a su nivel máximo (0.45), mientras que en la temporada 2000-2001 la E bajo hasta el límite de la sobrepesca, e incrementó de nuevo en los últimos dos años. El resultado de este diagnóstico sirve como base para la discusión sobre cómo el esfuerzo deberá reducirse si se busca tener una recuperación en la pesquería a niveles de captura anteriores, como los que había a principios de los años 80.

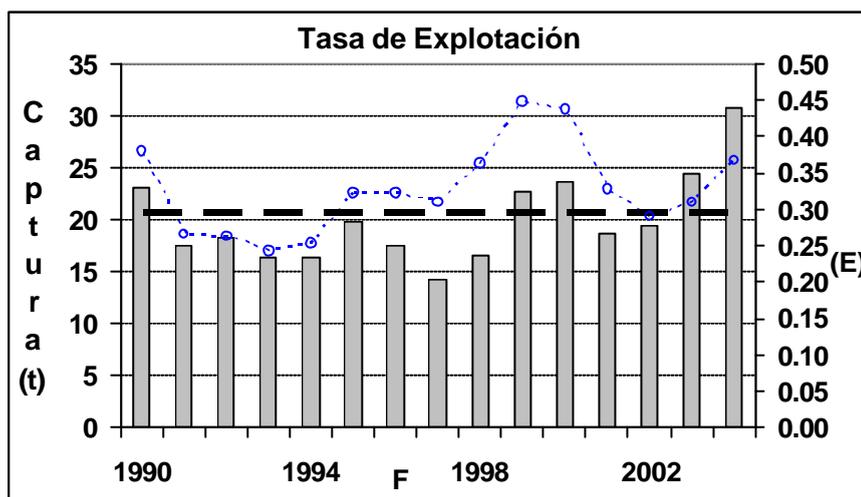


Figura 27 – Diagnóstico histórico de la pesquería de langosta *Panulirus argus*. Las barras representan la captura y la línea punteada la tasa de explotación; para fines comparativos, la tasa de explotación (E) en el nivel de MSY se representa con la línea horizontal interrumpida.

Al examinar la tendencia de la captura que se muestra en la Figura 27 se hace evidente que a pesar de que en algunos años la pesquería se encuentra aparentemente sobreexplotada según los valores de E, ha habido una recuperación en la captura desde 1997 a la fecha lo cual deberá analizarse. Se interpreta que ésta posible recuperación puede deberse a que durante las últimas temporadas de pesca, se ha disminuido el esfuerzo aplicado durante el último mes y por lo mismo se han hecho evidentes los efectos de ésta reducción.

8. DISCUSIÓN

8.1 Estimación de la densidad y distribución de *Panulirus argus* por medio de la observación con transectos.

El presente estudio mostró que el uso de transectos para la estimación visual de la densidad de langostas *Panulirus argus*, puede aportar información valiosa sobre la distribución y composición de la población, la cual es útil para el entendimiento de la dinámica de la pesquería, como también se ha probado en otras áreas del Caribe (Smith y Van Nierop 1986, Tewfik et al. 1998, Briones-Fourzán y Lozano-Álvarez 2001a, Acosta y Robertson 2003) y con otras especies (*Panulirus ornatus*) (Pitcher et al. 1992). Considerando que el número de transectos realizados sumaron un área de 2.34ha de las 144,360ha totales de Banco Chinchorro, el mayor valor de ésta metodología estriba en el hecho de que permitió mostrar diferencias significativas en la distribución de las langostas para las distintas zonas fisiográficas y los diferentes estratos de profundidad, además de permitir observar la asociación entre la estructura de tallas y el gradiente de profundidad. No se descarta la posibilidad de algunas fuentes de error en la estimación de la densidad debido a la selección del tipo de zonas elegidas para ubicar los transectos (Pitcher et al. 1992), sin embargo la metodología fue consistente en cómo se realizaron éstos a lo largo y ancho del Banco, y se procuró que los buzos revisaran intensivamente debajo de las estructuras.

La densidad promedio que se reportó para el área de Banco Chinchorro fue de $257.07 \text{ indha}^{-1}$, (devn. Std. 562.64), la cual es considerablemente mayor a otros promedios de densidad reportados en la literatura para otras áreas protegidas, $56.8-94.1 \text{ indha}^{-1}$ en Chankanaab-Q.Roo, (Lozano-Álvarez et al. 2003), $7-19 \text{ indha}^{-1}$ en St. John EU, (Olsen et al. 1975), 64.8 indha^{-1} en Dry Tortugas EU, (Davis 1977), $5.4-94 \text{ indha}^{-1}$ en Looe Key EU (Cox et al. 1997), 16.9 indha^{-1} en Cayos Cochinos en Honduras (Tewfik et al. 1998), 91.2 indha^{-1} en el arrecife de Glover Belice (Acosta y Robertson 2003). La desviación estándar ($562.64 \text{ indha}^{-1}$) de los valores de densidad, es muestra de la heterogeneidad que se observó en las 31 localidades para el presente estudio, donde los valores presentan un rango amplio (0 y 2801 indha^{-1}), y una mediana (76.5 indha^{-1}) que representa un valor más cercano a los valores promedio reportados en la literatura mencionada.

El promedio calculado para la RBBCH, es alto en relación con las otras áreas protegidas del Caribe arriba mencionadas, principalmente debido a los valores de densidad de algunos sitios de muestreo (sitios: 27, 28, 31, 25), que superan los 640 indha^{-1} . Dichos valores elevados de densidad de la población son un buen indicador de cómo se conserva el recurso a pesar de ser una zona de explotación pesquera comercial (Smith y Addison 2003), aunque debemos tomar en cuenta que la representatividad de dichos valores en futuros estudios puede cambiar, ya que depende fundamentalmente del tamaño de la población, de la relación del tamaño del área muestreada con el área total, además de la profundidad y de la ubicación fisiográfica de los sitios de muestreo, como se discute en detalle más adelante.

8.1.1 Análisis de frecuencias de densidad

8.1.1.1 La relación de profundidad vs densidad

Con la verificación en campo se probó que el acuerdo entre las cooperativas de que la pesca en Banco Chinchorro se realice exclusivamente con buceo libre sin aire comprimido (SCUBA) (INE-SEMARNAP 2000, González-Cano et al. 2001), mantiene una profundidad límite de captura cercana a los 15m, lo cual constriñe y segrega espacialmente la explotación de la langosta *Panulirus argus* a las zonas someras. Los resultados del presente estudio indican que la distribución y densidad de la población de langostas responde parcialmente a los patrones de explotación pesquera (Phillips y Chaffee 2000) que se encuentran estructurados espacialmente conforme a la profundidad.

En el perfil de la Figura 8, se observa como los valores de densidad presentan variaciones en el gradiente de profundidad, donde los valores pico de más alta densidad se encuentran por debajo de los 15m que marcan el límite de captura por pesca. La única excepción a dicho patrón de alta densidad es el sitio 31 que se encuentra en los 5m de profundidad dentro de la zona de captura en la laguna arrecifal. Cabe mencionar que el mayor número de individuos observados en el sitio 31 fueron juveniles (<80 mm LC) que por normatividad no son capturados por pesca en la RBBCh (Briones-Fourzán et al. 1997, INE-SEMARNAP 2000).

En congruencia con lo anterior, observamos que el estrato profundo (>15m) supera al valor de la densidad promedio por un 19% y al valor del estrato somero (<15m) por un 38.3% (Tabla 7). Esto ratifica la idea de que la profundidad límite de captura de la pesquería (15m) puede afectar positivamente la densidad y distribución de langostas favoreciendo el número de langostas en las zonas profundas, debido a que ahí no se ejerce la misma presión por pesca que en las zonas someras (Lozano-Álvarez et al. 2003). Ésta forma de explotación indudablemente contribuye a conservar la disponibilidad del recurso, ya que las zonas más profundas juegan un papel de reserva que garantiza al aporte de reclutas a la pesquería que tiene lugar en aguas someras.

Con la prueba de Chi cuadrada ($P = 0.077$) se probó estadísticamente que la distribución de organismos efectivamente se encuentra asociada a un gradiente de profundidad, considerando que el 87.5% de los sitios con densidad MUY ALTA ($>160 \text{ indha}^{-1}$) se encontraron por debajo de los 15m de profundidad. Este supuesto se cumple en un 100% de los sitios que se encuentran en la zona oriental correspondiente al arrecife frontal, sin embargo hay excepciones donde ciertos sitios someros en la laguna arrecifal presentaron densidades ALTAS ($76.5-160 \text{ indha}^{-1}$) y zonas profundas en Sotavento presentaron densidades BAJAS (hasta 6.7 indha^{-1}).

Los patrones de distribución observados en el gradiente de profundidad en mayo del 2005 podrían atribuirse a ciertos comportamientos temporales, como son la reproducción, (Briones-Fourzán et al. 1997), por lo que para cerciorarnos de que existe una asociación permanente de la profundidad con la densidad, se requieren estudios más extensivos que incluyan un mayor número de localidades muestreadas a lo largo de una mayor temporalidad, por ejemplo varios meses del año (Herrnkind 1980, Sousa 1987).

Para reforzar la idea de que la actividad pesquera en la zona somera es la razón principal que determina las diferencias en densidad con respecto a la zona profunda (>15m), deberán realizarse estudios como los de captura y recaptura, que permitirán reconocer patrones de movimientos migratorios temporales y espaciales (Melville-Smith y Wing-Yuk 2002). Éstos pueden ser indicadores de la relación entre la parte del *stock* sujeto a la explotación en aguas someras y aquel que se encuentra aislado por la profundidad.

La zona profunda (>15m) de la RBBCh podría estar funcionando como un área núcleo protegida, o “zona de no captura”, útil para el manejo de la pesquería, dadas las evidencias de la segregación espacial del aprovechamiento pesquero.

En los modelos para diseño de reservas, un principio para determinar la estructura espacial de éstas es considerar el patrón de aprovechamiento por zonas, donde se asume que las larvas están mezcladas de manera homogénea en el área total, y que el reclutamiento relativo que se tiene tanto para: a) la zona de no captura (>15m), como b) la zona de aprovechamiento (<15m), es idéntico a la proporción que éstas ocupan del área total. En congruencia con el planteamiento anterior, la funcionalidad de la zona de no captura (>15m) de la RBBCh debería evaluarse en relación al tamaño y al espacio que ésta ocupa (Stockhausen et al. 2000), lo cual es equivalente al perímetro total (115, 000 m) multiplicado por la distancia a la que se extiende el piso submarino (hasta 1,900m) (INE-SEMARNAP 2000) en las profundidades donde se distribuye la langosta que va desde los 15m hasta los 60-100m, (Lozano-Álvarez y Negrete-Soto 1991, Briones-Fourzán et al. 1997, Phillips y Chaffee 2000).

Considerando lo anterior, sabemos que la RBBCh juega un papel importante en la conservación de la especie *Panulirus argus*. Sin embargo, el presente estudio mostró que la funcionalidad de una zona de no captura (>15m) en la RBBCh no puede limitarse a considerar el área que ésta abarca, ya que la langosta no se distribuye de manera homogénea en todo el perímetro del banco. La funcionalidad de una zona de no captura para la langosta en la RBBCh, debe evaluarse considerando también los factores abióticos (hidrodinámica) y fisiográficos (Barlovento-Sotavento) que controlan los espacios temporales de densidad en las distintas zonas y profundidades del banco, a lo largo de las diferentes etapas de la historia de vida de *Panulirus argus* (Stockhausen et al. 2000).

8.1.1.2 Cambio de la densidad vs. zonas fisiográficas

Las pruebas de Chi-cuadrada ($P=0.011$) mostraron que: a) los sitios de categoría MUY ALTA densidad ($>160\text{indha}^{-1}$) se ubicarán en Arrecife Frontal con un 85.7% de probabilidad, b) los sitios de categoría ALTA densidad tendrán un 75% de probabilidad de ubicarse en la zona oriental del banco, ya sea en la cresta arrecifal o en el arrecife frontal, c) los sitios con densidad media de 6.8 a 76.5 indha^{-1} se ubicarán con un 62.5% de probabilidad en las Zonas de Sotavento y Sotavento central, y d) los sitios con densidad de categoría BAJA (6.7indha^{-1}) tendrán un 66.6% probabilidad de ubicarse en la zona occidental de Sotavento.

La zona fisiográfica de arrecife frontal promedió 19.9m de profundidad y presentó el promedio de densidad mayor (476.63 indha^{-1}) de todas las zonas, sin embargo existen

evidencias de que también hay otros factores que afectan la densidad, ya que la zona de sotavento que presenta una profundidad semejante a la de arrecife frontal, tiene valores de densidad mucho menores (20.19 indha^{-1}). La escasez de hábitats adecuados para la obtención de alimento y mejores refugios que eviten la depredación serán determinantes en los niveles de densidad de langostas para las diferentes zonas fisiográficas (González-Cano 1991, Briones-Fourzán 1994), y existen algunas razones ecológicas que permiten pensar que las langostas colonizan preferentemente hacia el lado oriental del atolón (Barlovento). Por ejemplo, se sabe que la comunidad dominante de arrecife frontal la constituyen las esponjas con presencia de escleractineos de medio tamaño que fueron comunes al resto de las zonas fisiográficas, pero la zona se distingue porque en medio de los amplios canales se observaron macizos de 4 a 5 m de altura donde se concentraron adultos grandes (principalmente machos) para refugiarse durante el día. En el mismo lado oriental conforme se disminuye la profundidad y se aproxima la zona de Transición Barlovento, el sistema de macizos y canales formados por una antigua trama de *Acropora palmata* se desarrolla alcanzando hasta 5 o 6 metros de altura, (Amigos de Sian Kaan 1997), lo cual provee buenos refugios contra depredadores.

Para cada zona fisiográfica en la RBBCh las diferencias en términos de composición de especies y tipo de fondo ya se han registrado en otros estudios (Amigos de Sian Kaan 1997, INE-SEMARNAP 2000), lo cual ahora nos permite relacionar la abundancia de especies como *Lobophora variegata* y *Laurencia sp* con los resultados de distribución y densidad de *P. argus* registrados en el presente. El fundamento es que independientemente del flujo de postlarvas hacia una zona fisiográfica, la carencia de hábitats (como camas de algas Rhodofitas) que permitan el asentamiento de puerulos y la consiguiente residencia de juveniles postalgales, puede ser motivo de un cuello de botella para la presencia de langostas adultas de *P. argus*, ya que los juveniles algales se encuentran principalmente en hábitats de pastizales y algas, debido al refugio y alimento que estos proveen (Briones-Fourzán y Lozano-Álvarez 2001b).

En el estudio de caracterización de arrecifes de la RBBCh (Amigos de Sian Kaan 1997), se menciona que diez especies de algas contribuyeron al 82.5% de la cobertura del tejido vivo, de las cuales la más dominante fue *Lobophora variegata* con un 24% de cobertura. Para la zona de Sotavento, la cobertura que se reporta para ésta especie es del 5 al 10%, lo cual es la mitad de lo que se presenta en la zona de Barlovento (arrecife frontal) donde la cobertura que se reporta es dominante y sobrepasa el 20%. Asimismo el arrecife frontal fue la única zona fisiográfica que presentó cobertura tanto de *Laurencia spp* (macroalga Rhodofita roja), como de *Laurencia intricata*, lo cual la distingue del resto de las zonas como una posible zona de refugio y alimentación para juveniles algales de *P. argus*, como se ha reportado en los cayos de Florida (Marx y Herrkind 1985) y en Quintana Roo con *Lobophora variegata* (Briones-Fourzán y Lozano-Álvarez 2001b), donde se encontró que los puerulos y juveniles de *P. argus* eran más abundantes dentro o cerca de dichas especies algales, ya que éstas forman aglomeraciones ramificadas que proveen refugio y presas abundantes en la forma de pequeños invertebrados.

El hábitat extensivo de *Laurencia* es utilizada por las clases sucesivas de nuevos reclutas de *P. argus*, pero una vez que estos juveniles algales sobrepasan la cobertura debido al crecimiento, se mueven a otros refugios como son esponjas, gorgonaceos corales duros y cavidades rocosas. En el estudio sobre distribución y abundancia de juveniles

(Marx y Herrnkind 1985) proponen que si los refugios cavernosos son vastos, el cambio de hábitat ocurre cerca de los 15-20mm LC, pero el tamaño en que los juveniles se mueven del hábitat algal a los refugios cavernosos depende de la abundancia y la distribución de las *Laurencia*. En Quintana Roo (Briones-Fourzán y Lozano-Álvarez 2001b), proponen que más que la cantidad de refugios cavernosos, la presencia de juveniles algales (>10mm) en dichos refugios depende de la dinámica y naturaleza propia de los parches *Lobophora variegata*. En ambos estudios se reconoce la necesidad de parches algales para la sucesión de puerulos a juveniles algales y posteriormente a juveniles de *P. argus* que se refugian en las esponjas, corales y cavidades rocosas, que son los principales componentes arrecifales de las diferentes zonas fisiográficas estudiadas. Es por lo anterior que hacemos hincapié en la distintiva presencia de *L. variegata*, y *Laurencia sp* en la zona del arrecife frontal de la RBBCh donde se registró la mayor densidad de langostas. En contraste, no sorprende que en el sotavento, donde se presenta una cobertura menor o nula de dichas especies de algas, reportamos la menor densidad de langostas.

El mayor número de juveniles (<50mm LC) se avistaron en la zona de la laguna, como era de esperarse en la RBBCh dado el reclutamiento larvas y puerulos en la zona de manglares y pastizales (Caley 1996) de Cayo Centro, Cayo Lobos y Cayo Norte. La ubicación céntrica de estos sitios de asentamiento larval con respecto a las zonas occidental de Sotavento y oriental de barlovento, iguala la posibilidad de desplazamiento de juveniles hacia ambas zonas en términos de distancia; sin embargo, el que existan diferencias significativas en cuanto a la presencia de hábitat transitorio como los parches de *L. variegata* y *Laurencia sp* del lado de arrecife frontal, le confiere una ventaja directa al reclutamiento de juveniles al barlovento sobre el lado de sotavento y por lo tanto un abastecimiento potencial de langostas adultas (Briones-Fourzán y Lozano-Álvarez 2001b). Es muy probable que ésta sea una de las razones por las que se muestran diferencias significativas entre las densidades de langostas de dichas zonas, a pesar de las semejanzas en profundidad.

Por ser especie bentónica, el asentamiento de individuos de *P. argus* puede estar acoplado a la densidad de adultos en escalas espaciales locales (zonas fisiográficas), si las condiciones hidrodinámicas de comportamiento larval promueven la retención local (Fogarty 1998). Los patrones de asentamiento y densidad se encuentran relacionados funcionalmente de manera muy compleja (Stockhausen et al. 2000), pero sabemos que la interacción entre corrientes hidrodinámicas y la localización del stock reproductivo ha sido determinante para el diseño de zonas de no-captura en diferentes reservas (Fogarty 1998), porque es aceptado que las corrientes hidrodinámicas puedan imponer una estructura espacial en el asentamiento regional de especies bentónicas, a través del transporte de larvas. En Banco Chinchorro, específicamente en la porción inmediata a la línea de costa, (Sotavento) existen giros alargados o contracorrientes locales que se establecen por influencia de la fuerte corriente hacia el Norte y la topografía de la costa. El encuentro de la corriente con las puntas o zonas que interfieren el flujo, puede ocasionar acumulación de agua en éstas localidades, la cual, limitada por el margen continental tendería a fluir hacia el Sur (Merino 1986). Así las condiciones hidrodinámicas locales pueden estar modificando patrones de conectividad entre poblaciones, procedentes del sur (Phillips y Chaffee 2000, González-Cano et al. 2001), permitiendo solo la retención local de larvas en la zona oriental y promoviendo la migración de adultos hacia el arrecife frontal. Esto podría también

explicar que la densidad en las localidades muestreadas de Sotavento (20.19 indha^{-1}), sea menor en relación con la parte de arrecife frontal ($476.63 \text{ indha}^{-1}$).

En estudios de captura y liberación de la familia *Paniluridae* (Lozano-Álvarez et al. 2002), se mostró que las langostas que habían sido capturadas y posteriormente liberadas dentro de la laguna de Puerto Morelos, se dirigían significativamente hacia el arrecife que se encontraba en la misma dirección (Este) del oleaje, el viento y las rugosidades de la arena. Aunque más de un estímulo pudo haber afectado la dirección del desplazamiento, se cree que la dirección del oleaje fue el estímulo que más influyó. Al igual que en el mencionado estudio, en la RBBCCh los vientos dominantes que provienen del Este generan rugosidades en la arena, que son paralelas a la cresta arrecifal, por lo que es probable que éstas sean las que generen un sentido de orientación para las langostas. Para *P. argus* se ha reportado además de la dirección de la ola, la orientación magnética como una táctica para la búsqueda de refugios hacia zonas arrecifales (Herrnkind 1980). En la RBBCCh existen posibles refugios tanto en la zona oriental (barlovento/arrecife frontal) como la occidental (Sotavento), pero una clara diferencia es que el oleaje principal proviene del lado Este. Si el comportamiento de desplazamiento de las langostas es adquirido o congénito es otra discusión, pero por analogía en la RBBCCh como en Puerto Morelos la lógica indica que éstas buscarán refugios dirigiéndose por orientación magnética y oleaje hacia el lado Este (Barlovento-arrecife frontal), de ser así, el comportamiento podría ser otra explicación parcial del porque se presentan diferencias en las densidades de langosta entre las zonas oriental y occidental.

8.1.1.3 Densidad y desarrollo arrecifal

En la determinación de los valores de densidad por sitio, la ubicación fisiográfica y la orientación del lado occidental u oriental de los sitios de observación, jugaron un papel más importante que el tipo de desarrollo arrecifal que se presenta dentro de éstos. Sin embargo, si el sitio se encuentra dentro de las zonas de Sotavento y Barlovento con estructuras de categorías “Bien” a “Muy” desarrolladas, (Amigos de Sian Kaan 1997) se esperaba encontrar una mayor densidad en general, dada la posibilidad de encontrar mayor número de refugios (Briones-Fourzán et al. 1997). Las excepciones de este supuesto se presentaron en la zona de transición a barlovento cercana a la cresta arrecifal, donde hubo una densidad “Alta” a pesar de que las estructuras arrecifales fueron clasificadas como “Poco” desarrolladas, y en Sotavento donde había estructuras “Bien” desarrolladas y densidades “Bajas”. Se subraya el hecho de que la escala de clasificación para el tipo de desarrollo arrecifal es relativa a cada zona fisiográfica (Amigos de Sian Kaan 1997, INE-SEMARNAP 2000) y no en todos los casos es determinante para la densidad. El tipo de desarrollo más densamente poblado se presentó en macizos aislados de con altura de 6 a 9m y radio de 5m, que aparentemente funcionan como islas de aglomeración donde se observan altas concentraciones de langostas.

8.1.1.4 Tallas

En Brasil se ha demostrado un gradiente de tallas vinculado con la profundidad (Sousa 1987), y el presente estudio parece indicar que también existe en la RBBCCh. El 15% del total de individuos de *Panulirus argus* avistados fueron de tallas juveniles (40-80mm LC), de las cuales el 85.7% se encontraban en zonas someras (<10m), dado que a éstas profundidades se encuentra la zona de pastizales y arrecifes algales donde se asientan los puerulos y habitan los juveniles que no tienen aún la madurez sexual (Briones-Fourzán et al. 1997). Debido a que en Banco Chinchorro se respeta la normatividad y los juveniles menores a los 13.5cm (LA) (aprox. 80mm LC) no son capturados (INE-SEMARNAP 2000), su distribución y densidad se encuentra determinada principalmente por los factores abióticos (refugios, temperaturas, corrientes), ecológicos (alimentación, predadores, tipo de fondo, etc.) y biológicos (migración y comportamiento).

Por otro lado, el 85% del total de individuos avistados fueron adultos (>80mm LC) con una distribución mas amplia que los juveniles, con tallas que superaron el promedio mas alto reportado en Cozumel (>84.6mm LC) (Lozano-Álvarez et al. 2003) y se encontraron dentro de la talla legal para la pesca. El patrón de distribución de adultos más importante fue observado en el 36.2% de los sitios, donde se registró una población compuesta por adultos de los que más del 60% estaban dentro de la categoría de “tallas grandes” (>120mm LC), que en congruencia con la hipótesis planteada, se encontraron en su totalidad por debajo de la profundidad límite de captura (15m), respondiendo a una correlación de Pearson positiva con una Chi cuadrada significativa ($P=0.017$).

Es de suma importancia que además del patrón de los sitios arriba mencionados, se haya encontrado que el 87.72% de los individuos adultos avistados con tallas >120mm LC se encuentren por debajo de la profundidad límite de captura (15m), y que los individuos de tallas extra-grandes (>160mm LC) fueron observados en los estratos de profundidad mayores a los 20m exclusivamente, y se haya confirmado que “la ocurrencia de individuos tan grandes pueda ser resultado de la ausencia de pesca” (Lozano-Álvarez et al. 2003), dado que los efectos de la depredación de una especie decrece marcadamente en la parte tardía de la historia de vida como factor de mortalidad natural, lo cual incrementa la mortalidad por pesca en éstas tallas (Smith y Herrnkind 1992). El presente estudio indica que en los sitios muestreados existe una segregación en la explotación del recurso según la profundidad, donde los estratos profundos (>15m) podrían representar resguardos ecológicos que evitan la captura por pesca de cohortes de los adultos mayores de la población (Herrnkind 1980).

8.1.1.4.1 Talla y Sexo

Con una profundidad promedio mayor a los 15m, los transectos contabilizaron un total de 228 individuos, de los cuales 94 fueron machos, 78 hembras, (43 ovígeras), y en 56 no se pudo identificar el sexo, lo cual resultó en una proporción sexual de 1.2 machos por cada hembra. Esto es congruente con otros estudios donde se ha observado que la proporción sexual varía considerablemente a lo largo del año y en relación con la profundidad, debido a cambios en las necesidades del hábitat relacionados tanto con la búsqueda de refugio y alimento como con la reproducción (Herrnkind 1980).

En Banco Chinchorro (Phillips y Chaffee 2000), al igual que otras áreas de Quintana Roo como Bahía de Ascensión (Lozano-Álvarez et al. 1989), y Puerto Morelos (Lozano-Álvarez et al. 1991), existen razones para creer que buena parte del *stock* reproductivo de *Panulirus argus* se encuentra a profundidades mayores que los 15m donde se marca el límite de la captura con base en el buceo libre. Durante el mes de Mayo, se encontró que el 62.79% de las hembras ovígeras observadas se encuentran por debajo de los 15m de profundidad, lo cual coincide en fechas con otros reportes donde se ha observado que las hembras se dirigen a zonas más profundas para incubar los huevos desde marzo hasta octubre (Lozano-Álvarez et al. 2003). Debido a su talla grande (>100mm LC) las hembras que se encuentran en los estratos profundos tienen mayor fecundidad (Fonseca-Larios y Briones-Fourzán 1998) y se reproducen más de una vez en la temporada reproductiva (Lipcius 1986).

Tomando en consideración lo anterior, si se mantiene el respeto a la profundidad (>15m) como una “zona de no captura”, ésta puede aportar a la sostenibilidad de la pesquería por dos mecanismos: 1) migración local de los adultos hacia zonas someras susceptibles de pesca y 2) promoción del reclutamiento a través de la aportación de larvas, postlarvas, y posterior asentamiento de juveniles. Aunque es sabido que estos mecanismos dependen de múltiples escalas espaciales (locales y regionales) y procesos (por ejemplo migración y dispersión denso-dependiente), se recomienda mantener los hábitats de zonas profundas (>15m) como una zona núcleo para el *stock* reproductivo como se ha propuesto para bahía de la Ascensión (Lozano-Álvarez et al. 1993).

Es recomendable que para futuras investigaciones se analicen los movimientos migratorios considerando la captura histórica, que identifique a los individuos pertenecientes a una cohorte que realizan este fenómeno. Junto con parámetros estimados de crecimiento, este seguimiento podría proveer información acerca de los movimientos realizados durante las diferentes etapas del ciclo de vida. El relacionar cohortes con áreas de referencia podría proveer información sobre la replicabilidad del patrón, si se identifican cohortes posteriores que repiten el patrón (González-Cano et al. 2001). Se deberá poner especial énfasis en la información sobre los movimientos del *stock* ovígero agregado, para probar la certeza de la presencia mayoritaria (62.79%) de hembras ovígeras en profundidad (>15m) como lo muestra el presente estudio.

8.1.1.5 Reclutamiento larval

La información disponible de langosta propone que la población de Banco Chinchorro es semiabierta con características de una meta-población (González-Cano et al. 2001). La apertura de la población se fundamenta en la conectividad de las masas de agua en la región del Caribe (Cowen R.K. et al. 2000); que es aprovechada por las larvas para su dispersión. El autoreclutamiento de larvas sugerido por (Phillips y Chaffee 2000) se ha reconocido así mismo en larvas de peces en islas de la región (Cowen y Castro 1994, Sponaugle y Cowen 1994), con asentamiento de larvas en forma constante como es descrito por (Lozano-Álvarez 1992) en Bahía de la Ascensión. Para Chinchorro es necesario llevar a cabo evaluaciones que permitan establecer con datos sólidos la condición del reclutamiento.

8.2 Composición de la captura y datos pesqueros

8.2.1 Datos Pesqueros

Las actividades de campo pusieron en evidencia que la compilación de datos es útil para realizar prospecciones simulaciones y estimaciones poblacionales a nivel local, pero no es tarea fácil en términos de presupuesto, tiempo, y logística. La necesidad de colaboración e intercambio de datos e información entre las diferentes instituciones dedicadas al monitoreo, investigación y evaluación de *Panulirus argus* y su pesquería es elemental, ya que los esfuerzos en este sentido permitirían aportar información que se requiere para las evaluaciones del plan de manejo pesquero de langosta local y regional. Los cálculos de esfuerzo diario son difíciles de evaluar, dado el formato de registro que llevan las cooperativas, donde la libreta diaria de captura no tiene estructura específica y se limita a escribir el nombre de la panga y el número de kilos que deberán pagarse a ésta. Posteriormente ésta información es entregada a la administración de las SCPP quien la utiliza para realizar los pagos mensuales por pescador. Se recomienda llevar un registro escrito que incluya el número de días que cada panga invirtió por mes, el número de buzos que participaron en la captura por panga, las horas invertidas, los costos de operación (gasolina), y los sitios de captura. Dicha información permitiría ayudar a interpretar los datos de esfuerzo con mayor precisión y relacionarlos con el comportamiento del *stock* en futuros análisis. Para mantener la pesquería a los niveles de sostenibilidad recomendados por medio de evaluaciones realizadas que estén bien fundamentadas científicamente, sería recomendable realizar planes de acción conjuntos entre las tres Cooperativas, la Federación Regional de Sociedades Cooperativas de la industria pesquera de Quintana Roo, autoridades pesqueras y de la RBBCh, que deberán ser congruentes con el Plan de Manejo Pesquero de Langosta en la Península de Yucatán (2003 -2008). Se podría proponer por ejemplo la consolidación de un consejo regulador multidisciplinario que sirva como órgano rector, que se encargue de recibir y procesar los datos pesqueros que ayuden a vigilar el estado del recurso.

Los datos recabados muestran que el decaimiento de los volúmenes de captura se daba en forma asintótica desde los años de 1982 hasta 1999. Desde 1999 hacia el 2004, se muestra una recuperación de la captura con niveles de hasta 11,000kg por encima de los niveles inferiores, lo cual probablemente sea indicador de una recuperación en la población (Phillips y Chaffee 2000, González-Cano et al. 2001). Debe mencionarse que existen factores que pueden estar afectando la precisión de los datos históricos reportados, ya que los registros a bordo de los barcos nodriza y los registros contables en ocasiones difieren de los registros de la Subdelegación de Pesca de SAGARPA Sin embargo, la suspensión de las actividades de pesca durante el último mes de las cinco últimas temporadas es un argumento muy fuerte en apoyo a la idea de una recuperación y su consecuente incremento en la disponibilidad.

8.2.1.1 Composición por Tallas

En las temporadas 1983-84, 1984-85, 1989-90 y 1990-91, se tiene el precedente de que cuando se obtuvieron los datos de capturas con frecuencias de tallas, se mostraron algunos indicios de cambio en la estructura de tallas (Sosa-Cordero 2003). En dicho estudio se mostró una disminución notable en el número de individuos que tenían >100 mm LC y el pico de las tallas <100mm LC se movió de 85.3, a 79.4mm LC. La edad de reclutamiento a la pesquería también mostró un desplazamiento de 2.75 años en la temporada de 1983-85 a 2.5 años en la temporada 1989-91.

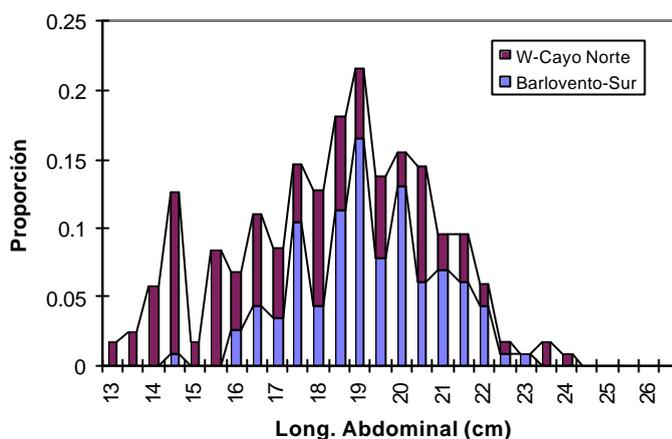


Figura 28 - Estructura de tallas de *Panulirus argus* capturadas en Banco Chinchorro. Se observan tallas más grandes hacia la zona sur que en la zona norte. La mayor proporción de la población se encuentra entre las longitudes abdominales de los 18cm y 19cm

Para analizar si se ha sostenido hasta la fecha una disminución en las tallas, se comparó la proporción de la población de langostas capturadas cuyos datos de longitud abdominal fueron obtenidos en el campo durante el mes de agosto 2005 (Figura 13), con aquellos datos obtenidos en el 2000 (Figura 28). Los datos recientes presentan una distribución más dispersa y un rango más amplio (13-27cm) que los datos registrados anteriormente de 13-24cm (Figura 28) (González-Cano et al. 2000a). Las capturas de agosto del 2005 (N = 142) también presentaron un promedio (18.6cm) (devn std. 2.43), una mediana (18cm) y una moda (16cm) menores a los 19cm que mostraron ser la longitud abdominal de mayor proporción en el 2000. Asimismo, el dato de longitud abdominal (LA) máxima reportada en la captura 2005, fue de 24.5cm (Tabla 22 y

Tabla 23), que está por debajo de la talla máxima (28cm LA) que reporta la bibliografía en organismos capturados en Quintana Roo durante años anteriores (Briones-Fourzán et al. 1997).

El hecho de que el presente estudio se encuentre limitado por el número de datos de referencia (Figura 13), no permite hacer aseveraciones certeras, pero los resultados de este análisis podrían estar confirmando una disminución en las tallas de captura, por causa de un sistema semi-cerrado (González-Cano et al. 2000a), donde la remoción de los individuos, modifica la estructura de edades-tallas del *stock* sujeto a explotación. Esto significa que se está afectando la estructura de la población capturada, debido a que los individuos de tallas cada vez menores se reclutan a la pesquería (sobre-pesca del crecimiento). Al ir removiendo individuos juveniles, cada vez son menos los individuos que llegan a tallas

mayores, en zonas someras, lo cual afecta su rendimiento promedio, y con ello el rendimiento por recluta de la población. Esto podría resultar en que el comportamiento de las capturas siga en un patrón descendente conforme se va accediendo al recurso, a menos que exista un aumento en el reclutamiento o una migración masiva de individuos mayores desde zonas profundas hacia zonas someras de explotación.

Al realizar la conversión de datos de longitud cefalotorácica (cm) a edad (años), con parámetros actualizados (de León et al. 2005), en el presente estudio observamos que la edad media de captura equivale a 4.26 años (11.1cm LC), y la edad de reclutamiento a la pesquería (t_r) resulta en 2.2 años, lo cual confirmaría que también se sostiene la disminución histórica de la edad de reclutamiento según los reportes anteriores, (Sosa-Cordero 2003). Sin embargo, si para fines comparativos con la misma bibliografía se realiza la conversión de los datos actuales con los mismos parámetros utilizados en el 2003 por el autor, la edad de reclutamiento (t_r) resulta en 2.76 años. Con ésta última conversión, resulta que el desplazamiento que fue observado por el autor de 2.75 años en la temporada de 1983-85 a 2.5 años en la temporada 1989-91, no se sostiene, e incluso puede haberse revertido y aumentado en el 2005, lo cual es mas creíble dado el incremento en la captura durante esos últimos años. Lo anterior pone en evidencia que para afirmar una tendencia histórica de disminución o aumento en la edad de la población, los datos deberán analizarse con base en los mismos parámetros de edad/crecimiento, e idóneamente deberán generarse nuevos actualizando las bases de datos cada año.

La literatura reporta hembras ovígeras de 13cm (LA) en Quintana Roo (Briones-Fourzán et al. 1997), pero debido a que las cooperativas de la RBBCh respetan la talla mínima de captura, no se registró ninguna hembra capturada con madurez sexual menor a los 13.5cm (LA), y el promedio de longitud abdominal (LA) de hembras en edad reproductora se encuentra en 18.6cm LA. Con una $N = 80$, el promedio de LC para hembras capturadas en actividad reproductora fue de 11.1cm (LC) con un intervalo de 8.5cm a 16.5cm de LC lo cual es mayor al promedio (10.46cm LC) y al rango (7.64cm a 13.76cm LC) reportado para otros sitios (Fonseca-Larios y Briones-Fourzán 1998). Los mismos autores reportan que en el Sector norte del Mar Caribe (México) a) las hembras >10.5 cm CL habrán desovado dos veces b) que el mayor Potencial Reproductivo corresponde a las clases 10.5cm -11cm, 11.5cm-12cm y >12.5 cm LC. y c) que las hembras de 10.5-12cm LC contribuyen con el 42% de la producción de huevos. Con dicha información, aseguramos que en la RBBCh, al menos el 32.5% de las hembras han cumplido con su ciclo reproductivo y han aportado larvas más de una vez antes de ser capturadas en las zonas someras.

8.2.1.2 Tendencias de las capturas de cola de langosta

Las tendencias observadas de la captura de colas de langosta por mes (Figura 11) y los promedios de captura de colas de langosta por pescador (Figura 12), son buenos indicadores de la pesquería de *Panulirus argus* en la RBBCCh. Las fluctuaciones mensuales pueden atribuirse a diferentes factores como son la migración temporal, los cambios en la composición de la población, o los niveles de eficiencia en la captura, que bien pueden expresarse como componentes del coeficiente de capturabilidad (Arreguín-Sánchez 1996).

La capturabilidad, se ha definido como la medida de interacción entre la abundancia del recurso y el esfuerzo de pesca, mientras que el coeficiente de capturabilidad se define como la proporción de individuos de un área pesquera A que han sido removidos de un área a , con eficiencia de c , donde $q = c(a/A)$ (Baranov 1918). Para llegar a estos parámetros los biólogos pesqueros asumen que una población se encuentra distribuida de manera homogénea en un área determinada y que la flota tendrá total acceso al recurso. Si éstas condiciones no se cumplen, habrá falsas estimaciones en el tamaño de la población, al igual que en las medidas de capturabilidad y mortalidad por pesca, ya que se calcularán únicamente sobre la fracción de la población explotada, en un tiempo dado (Arreguín-Sánchez 1996). En la RBBCCh, el presente estudio muestra que el acceso a la población se limita a los 15m superficiales, y que existe una diferencia en la densidad y distribución de las langostas que está en función de la profundidad y del área fisiográfica donde éstas se encuentran, por lo que la capturabilidad no puede ser considerada como homogénea en toda el área del banco en tiempo, ni en espacio.

En la expresión de mortalidad por pesca $F=qf$ (donde F = mortalidad, q = coeficiente de capturabilidad y f = esfuerzo) utilizada en muchos de los modelos pesqueros se ha considerado al coeficiente de capturabilidad, q , como una constante, lo cual es un error en la mayoría de los casos, ya que el valor de (q) puede variar en función de la disponibilidad, accesibilidad y de la vulnerabilidad del recurso (Baranov 1918). En la RBBCCh se hacen evidentes las variaciones en la accesibilidad de la langosta con la tendencia de la capturas promedio por pescador (Figura 12) que son superiores para meses pico (junio, julio, febrero) y menores en los meses medios de la temporada (agosto a diciembre). La relación entre área somera y área total (a/A) no es constante, y consideramos que la accesibilidad al recurso (promedio de captura por pescador) en el área somera (a) está determinada por los procesos de migración temporal que definen la distribución espacial, ya que esto es común en poblaciones de especies como *Panulirus argus* que presentan migraciones estacionales (González-Cano 1991) y una estratificación espacial de tallas o edades (Arreguín-Sánchez 1996).

Si la eficiencia de pesca de los pescadores no se ha reducido de un mes a otro, la capturabilidad se verá afectada principalmente por la accesibilidad y disponibilidad de organismos (Fox 1970), por lo que la recuperación observada en los niveles de captura durante los periodos de reposo, ya sea por la veda o por las vacaciones diciembre-enero, se atribuyen a la dinámica propia de la población total de la RBBCCh, donde el aumento en la captura será resultado de una mayor disponibilidad de organismos adultos reclutados por migración desde las zonas profundas (>15m) hacia la zonas someras de pesca (<15m) (Tewfik et al. 1998, Phillips y Chaffee 2000). El incremento en la captura después de un

periodo de reposo de la pesquería, se explica mejor por individuos que ingresan al área de pesca desde zonas profundas, que por incrementos en la biomasa de individuos que ya se encuentran dentro del área somera.

8.2.1.3 Mortalidad

Para agosto del 2005, una mortalidad por pesca $F =$ de 0.297 representa un valor relativamente menor que aquellos F reportados para años anteriores en la RBBCh (Sosa-Cordero 2003). Sin olvidar que el presente resultado es producto de una muestra pequeña de la captura, y que la pendiente de la cual se extrae el valor de F es muy sensible al número de datos, una disminución en la mortalidad por pesca F puede ser reflejo de una recuperación en la salud de la población. Se parte del supuesto de que todos los grupos de edad considerados son igualmente vulnerables a ser muestreados, y que la mortalidad por pesca Z es la misma en todos los grupos que se grafican. El valor de la mortalidad puede disminuir por varios factores, como por ejemplo si los individuos que se capturan actualmente resultan ser más longevos y alcanzan edades mayores que aquellos capturados en temporadas anteriores, o bien si la edad de reclutamiento a la pesquería es mayor (Hilborn y Walters 1992). Reconocemos que se presentan algunas limitantes en el cálculo de la mortalidad total de 2005, ya que la muestra puede no ser lo suficientemente grande para cubrir los grupos de edad que representan el promedio de la estructura total de la población en el periodo considerado, y no sabemos si todos los grupos de edad se reclutaron con la misma abundancia. (Smith y Addison 2003)

8.2.1.4 Artes de pesca alternativas y estrategias de mercado

La implementación de una marca colectiva, o bien una posible certificación que permita reconocer un buen manejo de la pesquería como valor agregado, ha sido un interés común que ha promovido una serie de talleres entre las cooperativas pesqueras (SCPP), agencias gubernamentales (CONANP, Programa de Recursos Biológicos colectivos CONABIO, CRIP-INP) y ONG's (Amigos S.K., WWF), donde se han discutido diferentes estrategias para avanzar hacia prácticas de aprovechamiento que coadyuven en la sostenibilidad de la población de *Panulirus argus*. La realización de un intercambio de experiencias sobre diferentes artes de pesca fue fundamental, ya que los pescadores aprendieron a lazar las langostas vivas (capturándolas desde las antenas) sin necesidad de engancharlas para extraerlas de sus refugios.

La experiencia mostró que incorporar el lazado como arte de pesca alternativa al gancho podría permitir la captura y venta de langosta viva-entera, lo cual incrementaría el peso neto de la captura total y por ende traería un mayor beneficio económico. Además la captura por lazado permitiría la liberación de hembras ovígeras y de juveniles (<13.5cm LA), lo cual se traduciría en un mayor reclutamiento debido a: a) un aumento en la posibilidad de eclosión de los huevos que de otra forma serían desechados al capturar a las hembras con gancho, y b) un incremento en el número de las langostas que completarían el ciclo reproductivo antes de ser capturadas (Fonseca-Larios y Briones-

Fourzán 1998). La liberación de juveniles y por ende captura de tallas mayores, tendría como consecuencia un mayor rendimiento por recluta (González-Cano et al. 2000a), que resultaría en un aumento en los niveles de captura (t).

8.3 Modelo de FISMO (Fishery simulation Model)

Las estimaciones de las tasas de explotación “E” que se observan en los resultados (Figura 27), son dependientes de los valores de mortalidad por pesca (F) calculados por el modelo escogido, y por lo tanto también dependen de la robustez de éste. Los valores encontrados corresponden a la fracción de la población sujeta a pesca, que se encuentra en la zona somera. Con el modelo aplicado de FISMO, (Chávez 2005) calculamos con referencia a la mortalidad por pesca del rendimiento máximo sostenible ($F_{MSY} = 0.15$), que en algunos años la pesquería estuvo sobre-explotada, y en otros estuvo sub-explotada (1990-1994, y 2002). Sin embargo, lo anterior contrasta con la tendencia de la captura, ya que se observa cierta estabilidad que fluctúa cerca de los 20,000kg de colas, e incluso se muestra un aumento en la captura hacia el 2004. La recuperación, coincide con el establecimiento de Banco Chinchorro como un área natural protegida y Reserva de la Biosfera en 1996, por lo que al existir un mejor y más efectivo control de la pesca furtiva, el respeto a las vedas y la legalidad en los métodos de captura, (INE-SEMARNAP 2000), pudo haber reducido la mortalidad por pesca y así propiciado un aumento de la biomasa (Figura 19) (Hilborn y Walters 1992).

Hay evidencias para afirmar que la biomasa de la población de langosta en Banco Chinchorro se ha modificado y disminuido a lo largo de su historia, y que existe incertidumbre en cuanto a las tasas de mortalidad por pesca “F” y explotación “E” que pudieron haber provocado los cambios (González-Cano et al. 2000a), pero es de esperarse que el *stock* y la captura puedan decrecer, si el tamaño de la langosta que se recluta a la zona de pesca, se reduce como resultado de la sobre pesca. Por esto, se recomienda evitar la sobre pesca, que se continúe con el respeto a la talla mínima de captura o que se adopten las nuevas regulaciones recientemente impuestas por el gobierno de EUA sobre talla mínima para la importación comercial de langostas, pues inevitablemente contribuyen a la preservación de este recurso.

Algunos factores que pueden haber favorecido el sostenimiento de la captura son: 1) la presencia de zonas profundas de refugio que limitan la disponibilidad, 2) una gran aportación de post-larvas que están garantizando los niveles de reclutamiento, 3) el respeto a la talla mínima legal, y 4) Las medidas de control del esfuerzo (vedas y número de pescadores) (González-Cano et al. 2000a). Por lo anterior, se sugiere una vigilancia permanente e investigación que permita tener mejor disponibilidad de datos e información sobre los efectos ecológicos y poblacionales de dichos factores.

En los resultados del modelo FISMO aplicado, el número de individuos estimados por el reclutamiento oscilaron cerca de los 25,000 durante los primeros años de la serie, después ascendió en la última mitad de dicho periodo hasta exceder los 220,000, y finalmente el promedio fue 120,000 individuos. Los valores resultantes de este trabajo son cercanos a los estimados por Sosa-Cordero (2003), que van desde 43,870 ind. hasta

241,150 ind. y que promedian 155,850 ind., pero son mucho menores a los estimados por el CRIP que van desde 790,000-1,700,000 ind. (González-Cano et al. 2000a). Las discrepancias que presentan los tres modelos en la estimación de estos valores, son muestra de cómo se pueden interpretar los mismos valores de captura partiendo de inferencias muy distintas sobre el reclutamiento, aunque existen coincidencias en que sus fluctuaciones (posiblemente asociadas a la dinámica oceánica o a fenómenos meteorológicos), estén provocando una compensación en los niveles de biomasa.

Los modelos dinámicos de biomasa nos proveen estimaciones de una serie de puntos de referencia que se discuten en la (Tabla 25) como son el máximo rendimiento sostenible (MSY) y otros relacionados, como la mortalidad por pesca necesaria para llegar al MSY (F_{MSY}), el esfuerzo pesquero en el nivel de MSY, la biomasa en el nivel de MSY, y la biomasa del *stock* no explotado. Dichos puntos de referencia pueden ser útiles para evaluar la condición de los *stocks*, e incluso podrían servir para enmarcar algunas reglas de manejo, pero debemos considerar que son sensibles al modelo que es escogido. Hay consideraciones que podrían hacerse como el supuesto de una capturabilidad constante (ej. que la biomasa sea proporcional al índice de abundancia) que puede modificarse usando relaciones tales como el modelo de potencia que considera una capturabilidad dependiente del tamaño de la población (Arreguín-Sánchez 1996), o bien la capturabilidad estocástica modelada a partir de un trazo aleatorio que considera la variabilidad aleatoria que podría ser inducida por factores como el clima por ejemplo.

La evaluación de la pesquería de langosta es problemática aun cuando existen evidencias de decaimiento de las capturas o disminución en la densidad de la población, debido a la sensibilidad de los diferentes modelos y al hecho que se sabe poco de los parámetros poblacionales de los *stocks*. La dinámica poblacional de la langosta espinosa de Banco Chinchorro presenta retos tanto en el campo teórico como en el práctico, dado el ciclo de vida tan complejo de *Panulirus argus*. No debemos olvidar que Punt y Hilborn (1996) sugieren tener prudencia al buscar patrones entre tasa de captura y la biomasa. Cualquier modelo presenta fragilidades en la estimación de valores y deberá ser validado constantemente cuando se cuente con información mas precisa sobre los parámetros poblacionales locales (tasas de reclutamiento, crecimiento, k , tallas de captura, L_8). Los nuevos y cambiantes valores permitirán llevar a cabo diagnósticos más efectivos de la población, y se podrá realizar un manejo adaptable de la pesquería mas preciso en función de los nuevos valores.

Las estrategias de pesca fueron examinadas con el propósito de aconsejar en la medida de lo posible a los pescadores y a los tomadores de decisiones involucrados en la explotación de *P. argus* en Banco Chinchorro. Como la incertidumbre asociada al manejo de los *stocks* explotados impone la necesidad de aplicar principios precautorios para evitar los riesgos de decaimiento de un *stock* y el colapso de la pesquería, en el modelo se adoptó el F_{MSY} (mortalidad en el punto de máximo rendimiento sostenible) como el punto de referencia límite. Así, el valor de $F_{MSY} = 0.15$ es por consecuencia el que define la tasa de explotación (E) en ese límite ($E = [F_{MSY} / (M + F_{MSY})]$), pero queda en cuestión para futuros estudios confirmar la veracidad de dicho valor como punto de fijo de referencia, y a su vez la afirmación de una sobreexplotación, siendo que el propio modelo estima que las capturas potenciales mayores pueden obtenerse con valores de mortalidad por pesca que fluctúan en un rango desde mortalidad $F > 0.05$ hasta $F < 0.3$ y una edad de primera captura $t_c = 2$ y 3

años. En otro estudio, (Sosa-Cordero 2003), que toma como base la relación entre la captura y los reclutas (Y/R) para calcular la tasa de explotación, (E), se concluye que la pesquería estaba operando cerca de su óptimo hasta 1998, y se recomendó que se evitara cualquier incremento en el esfuerzo pesquero y en la mortalidad por pesca donde ésta última fluctuaba entre $F=0.3-0.38$. Los valores de referencia (F y F_{msy}), de dichos estudios son distintos y se calcularon con diferentes parámetros, por lo que se dificulta hacer una comparación directa. Sin embargo, con una $F = 0.3$ como punto de referencia límite aplicado al FISMO, la tasa límite de explotación (E) se incrementa a 0.45, cambiando el panorama hacia una sub-explotación histórica de la población excepto en 1999. La falta de coincidencia en los valores de mortalidad (F) histórica y por lo tanto en los valores de explotación (E), de los mencionados estudios, pueden atribuirse a estimaciones imprecisas de los coeficientes de capturabilidad o número de reclutas, que pueden resultar en valores inciertos del tamaño del *stock* o mortalidad por pesca, (Smith y Addison 2003).

Escenarios de manejo

Las simulaciones elaboradas por el modelo FISMO, permiten probar diferentes escenarios de manejo de la pesquería de *P. argus* que se resumen en la Tabla 25. Dichas simulaciones se realizaron con la restricción de que la población no se agote y para observar el comportamiento de los indicadores socio-económicos que son importantes para el manejo de la pesquería. Se consideró la viabilidad de aplicación de cada escenario, en función de la mortalidad por pesca (F) y la edad de primera captura (t_c), que son variables potencialmente controlables a través de la regulación del esfuerzo y la inspección de las capturas. Como antecedente tenemos que algunas estrategias de manejo para pesquerías han utilizado los valores de $F_{0.1}$, F_{MAX} , $F_{25\%}$ y $F_{40\%}$, como puntos de referencia, donde varios autores han propuesto que $F_{0.1\%}$ o $F_{40\%}$ sean puntos de referencia a adoptar como objetivo de manejo y que $F_{25\%}$ sea el punto límite que permitirá obtener las capturas óptimas sin que el *stock* se colapse (Gulland y Boerema 1973, Deriso 1987, Sissenwine y Shepherd 1987, Quinn et al. 1990, Mace 1994). En el presente estudio, los valores de los indicadores actuales de la pesquería (2004-2005), fueron comparados con aquellos obtenidos para diferentes niveles de mortalidad (F) en puntos como: i) el máximo rendimiento sostenible (F_{MSY}), ii) el máximo rendimiento económico (F_{MEY}), iii) el máximo número de lanchas (B_{MAX}), iv) el máximo número de pescadores (N_{fmax}), y finalmente v) con la reducción de la F actual, que disminuirá en un 2.5% cada año, lo cual implica una reducción de F del nivel del 0.21 (año 2004) hasta 0.058 en el año 30 de la simulación; ésta última simulación se logra acortando la temporada una semana en el primer año y un poco menos en las temporadas subsecuentes. La pesquería actualmente inicia la explotación de langosta desde los 2.5 años de edad, pero ésta en realidad no termina de reclutarse a la pesquería hasta los 3 años, por lo que los 3 años son considerados como la edad de primera captura en las simulaciones.

Los valores numéricos que se muestran en la Tabla 25, representan el promedio de los últimos 5 años de un periodo de 30 años de simulación, donde la opción de la columna derecha implica una reducción anual de 2.5% en la F para cada año simulado, y resulta en la estrategia teórica más conveniente, ya que permite que se recupere el *stock* a niveles de

captura registrados desde hace 22 a 23 años (69 ton), con una mejora considerable en las variables socio económicas; sin embargo, si ésta medida fuera a tomarse en cuenta como estrategia de manejo, la reducción de la F (de 0.21 a 0.06) deberá aplicarse de manera paulatina, para evitar crisis socioeconómicas entre los pescadores durante los primeros años de aplicación. La reducción de la F puede lograrse con una pequeña ampliación de la veda, la cual sería equivalente a una semana en el primer año, y menos de una semana progresivamente en años subsecuentes. Adicionalmente, al observar que los pescadores han reducido el esfuerzo dejando de pescar durante todo el último mes de la temporada en el transcurso de los últimos cinco años, es probable que se les pueda convencer de que continúen haciéndolo así, con el incentivo de una aparente recuperación de la población, lo cual se ha visto en un incremento gradual de las capturas. Si se aplica el principio del manejo adaptable de la pesquería, al final de la siguiente temporada se haría una evaluación de las ventajas e inconvenientes de ésta estrategia, de tal manera que se pudiese decidir la posibilidad de aplicar alguna reducción adicional en el esfuerzo o bien mantener la duración de la temporada por otro año más. No deberá perderse de vista que el objetivo a largo plazo será el favorecer la recuperación de la población a los niveles que tenía 23 años atrás, cuando las capturas fueron de 69 t, pues una recuperación de la pesquería a esos niveles multiplicaría en cerca de 2.5 veces las utilidades y el número de empleos directos en ésta actividad, además del número de empleos indirectos que tendrían que incorporarse a la planta maquiladora.

Para apoyar la toma de decisiones en cualquier esquema de manejo que pudiera adoptarse, deben realizarse estudios detallados dirigidos a determinar el efecto fino de la pesca sobre la población explotada, ya que en el presente estudio muchos datos fueron de origen bibliográfico. (González-Cano 1991, de León et al. 1995, Sosa-Cordero 2003, de León et al. 2005). Se sugiere la elaboración de convenios entre la RBBCh e instituciones de investigación con capacidad para desarrollar estudios biológicos y pesqueros, para analizar de manera extensiva la población y las capturas en términos de talla, peso y sexo, para así tener una mejor idea de la estructura de edades y la dinámica poblacional.

Aún en el caso de contar con estimaciones muy precisas, se espera que cualquier disposición de manejo que pudiera derivarse de las simulaciones realizadas deberá aplicarse únicamente para el año siguiente a la evaluación, además de ser reevaluada constantemente bajo una lógica de manejo adaptable (Pearse 1982). Los modelos propuestos en la RBBCh proveen herramientas para realizar análisis más detallados de la pesquería a través de la interpretación de estadísticos pesqueros y de los datos que puedan derivarse de la implementación de programas de observación, donde los indicadores biológicos y económicos deberán revisarse continuamente para hacer reajustes.

El limitar el esfuerzo no resuelve todos los problemas de manejo, pero este deberá determinarse anualmente con cuidado, considerando el estado del recurso, los objetivos de la pesquería y las necesidades de los grupos de interés (Arce et al. 2001). Maximizar la captura, minimizar la probabilidad de decaimiento y limitar la tasa de mortalidad por pesca son tres metas que deberán ser balanceadas entre sí para poder optimizar los beneficios del recurso y ésta debe ser tarea de una evaluación multidisciplinaria fina y continua (FAO 1995a, 2001a, FAO 2001b).

Tabla 25 - Comparación de tres diferentes escenarios de aprovechamiento, cuyas variaciones se muestran con indicadores biológicos, económicos y sociales de la pesquería de la langosta en Banco Chinchorro, tomando como base las condiciones actuales de la temporada 2004-05. Los valores económicos se presentan en dólares (USD). Otros escenarios que se probaron fue el número máximo de pescadores, y de lanchas, pero ambas opciones resultaron igual que el F_{MSY} . La edad de primera captura fue de 3 años en todos los casos. Los números en negritas muestran los valores más altos de los atributos que se comparan. F_{MSY} = mortalidad por pesca en el punto de máximo rendimiento sostenible, B_{MAX} = # máximo de lanchas que soporta la pesquería, N_{MAX} = # máximo de pescadores que soporta la pesquería.

| | Escenarios de Manejo | | $t_c = 3$ años | $F_{MSY} = B_{MAX} = N_{MAX}$ |
|------------------|----------------------|-----------|----------------|-------------------------------|
| | ACTUAL | | | |
| INDICADORES | (2004-05) | F_{MSY} | F_{MEY} | $F=(0.975F)/yr$ |
| F (/año) | 0.21 | 0.15 | 0.1 | 0.06 |
| Captura t | 30.9 | 31.6 | 29.4 | 64.8 |
| Número de viajes | 2,691 | 1,922 | 1,281 | 807 |
| Días/lancha/año | 81.5 | 90.0 | 42.9 | 5.45 |
| Pangas | 33 | 35 | 30 | 148 |
| Empleos | 98 | 102 | 90 | 409 |
| Valor de captura | 858,336 | 878,081 | 816,199 | 1,660,044 |
| costos/panga | 88,803 | 66,383 | 38,237 | 119,614 |
| Costos totales | 469,041 | 335030 | 223,353 | 140,712 |
| B/C | 1.8 | 2.6 | 3.7 | 12.8 |
| Utilidades | 389,295 | 543,051 | 592,846 | 1,486,956 |
| Utilidades/panga | 11,797 | 15,724 | 19,868 | 11,204 |

9. CONCLUSIONES

En el manejo de la pesquería de langosta *Panulirus argus*, dentro de la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro, existen evidencias que sugieren que las regulaciones aplicadas al aprovechamiento han propiciado la estabilidad en los niveles de captura. Durante las últimas seis temporadas de pesca el volumen capturado fluctuó alrededor de las 20 toneladas de peso abdominal. Los transectos realizados mostraron un densidad promedio de $257.07 \text{ indha}^{-1}$ (Dsvn. Sdt. $562.64 \text{ indha}^{-1}$), que superan otros registros para el Mar Caribe. La prohibición del uso de aire comprimido que limita la pesca a la zona somera (<15m), tiene efectos positivos sobre la distribución de la especie, ya que se demostró que por debajo de esas profundidades existe una mayor densidad y presencia de adultos en edad reproductiva. Puede considerarse entonces que la zona profunda funciona como una zona núcleo. Analizando los datos mensuales de captura y de rendimiento promedio por pescador, queda en evidencia que las temporadas de veda permiten la recuperación del *stock* sujeto a explotación, debido probablemente a la migración de individuos adultos de la zona profunda hacia la somera. El decreto de la Reserva emitido en 1996 ha llevado a un mejor control en la pesca furtiva y a la regulación de la talla mínima de captura, que tuvo como consecuencia un aumento en la captura de 14,221kg en 1997 a 30,915kg en el 2004. Sin embargo, a partir del modelo FISMO se estima que en los últimos 15 años ha habido una ligera sobreexplotación de la población e indica que es necesaria una reducción en los niveles de mortalidad por pesca para llevar al restablecimiento de la población si se busca alcanzar los niveles de captura obtenidos en 1984 (67,448kg).

I.- Estimación de la densidad y distribución de *Panulirus argus* por medio de la observación con transectos.

1. El conteo visual de langostas con el uso de transectos lineales probó ser una herramienta efectiva para estimar la densidad y distribución de *Panulirus argus*, ya que permitió evaluar la variación relativa entre las zonas fisiográficas y los estratos de profundidad en la RBBCh. Con una muestra de $N = 31$ transectos, el valor promedio de densidad $257.07 \text{ indha}^{-1}$ (dsvn. std. $562.64 \text{ indha}^{-1}$) y mediana de 76.5 indha^{-1} , superó los niveles reportados para otras áreas protegidas del Caribe, lo cual es indicador de que el recurso se encuentra relativamente bien conservado.

La primera hipótesis que se puso a prueba: “En la RBBCh existe una relación positiva entre la densidad de langostas *Panulirus argus* y el gradiente de profundidad”; fue aceptada como cierta cuando se mostró una asociación positiva entre las categorías de densidad y los estratos de profundidad con la prueba de Chi cuadrada ($P = 0.077$) y se concluye lo siguiente:

2. El estrato de la zona profunda ($>15\text{m}$) presenta la densidad promedio mayor con 301.82indha^{-1} (devn.std. 655.55), la cual es un 19% mayor que el promedio general 257.07indha^{-1} (dsvn.std. 562.64) y 38.3% mayor que el promedio del estrato de la zona somera ($<15\text{m}$) 186.2indha^{-1} (devn.std. 388.77).
3. De los sitios con densidad muy alta ($>160\text{indha}^{-1}$), el 87.5% del total y el 100% de aquellos ubicados en el margen oriental se encontraron a más de 15m de profundidad;

La segunda hipótesis que se probó: “En la RBBCh, la mayor densidad de langostas adultas reproductivas de *Panulirus argus* ($>120\text{mm LC}$) se asocia a los estratos con profundidad mayor que 15m.” fue aceptada como cierta con una correlación de Pearson, y Chi cuadrada significativa ($P=0.017$) y se concluye que:

4. La categoría de “tallas grandes” ($>120\text{mm}$ Longitud Cefalotorácica), representó $>60\%$ de la población en 11 de los 31 sitios, de los cuales el 100% se encontraron por debajo de los 15m de profundidad. De las hembras ovígeras observadas ($N = 43$), se encontró que el 62.79% se encuentran a profundidades mayores que 15m. El 87.72% de los individuos adultos muestreados con tallas $>120\text{mm LC}$ se encuentran por debajo de la profundidad límite de captura (15m), y los individuos de tallas “extra grandes” $>160\text{mm LC}$, fueron observados exclusivamente en los estratos de profundidad mayores a los 20m; La ocurrencia de individuos tan grandes es principalmente resultado de la ausencia de pesca, por lo que reconocemos una segregación en la explotación de la langosta según la profundidad, donde los estratos profundos ($>15\text{m}$) representan resguardos ecológicos que evitan la pesca de algunas cohortes de los adultos de mayor edad de la población

La tercera hipótesis postulada: “Existe una asociación positiva entre la densidad de langostas y las zonas de clasificación del hábitat”, también fue aceptada (Chi cuadrada $P = 0.001$), y se concluye lo siguiente:

5. Las diferentes zonas fisiográficas presentan una distribución de langostas cuya densidad relativa es significativamente diferente ANOVA ($p = 0.005$). El 66.6% de sitios de categoría de baja densidad (6.7indha^{-1}) se concentran en la zona occidental de la RBBCh (sotavento central y sotavento), mientras que en la zona oriental se encuentran el 100% de los sitios con categoría de densidad muy alta ($>160\text{indha}^{-1}$), y el 75% de los sitios con categoría de densidad alta ($76.5\text{ a }160\text{indha}^{-1}$).

6. La relación entre la densidad y el grado de desarrollo arrecifal está supeditado a la ubicación de la zona fisiográfica donde se encuentra el sitio, pero en general si el sitio se encuentra dentro de las zonas de sotavento y barlovento con estructuras de categorías “bien” a “muy” desarrolladas, habrá mayor densidad, dada la disponibilidad de refugios. Las excepciones de este supuesto se presentaron en la zona de transición de barlovento cercana de la cresta arrecifal, donde hubo una densidad “alta” a pesar de que las estructuras arrecifales fueron clasificadas como “poco” desarrolladas, así como en sotavento, donde había estructuras “bien” desarrolladas con densidades “bajas”. Algunos macizos aislados con altura de 6 a 9m y radio aproximado de 5m fueron las estructuras de aglomeración con densidades mayores.
7. Dependiendo de la variación temporal y espacial de la calidad del hábitat, la carencia de zonas de refugio y de alimento han probado ser cuellos de botella que limitan el reclutamiento a las diferentes etapas del ciclo de vida de *P. argus*. En la zona de Barlovento la cobertura de *Laurencia sp* y de *Lobophora variegata* es hasta del doble con respecto a la zona de Sotavento, y por esto la sucesión juvenil y posterior presencia de adultos de *P. argus* podría verse afectada dentro de las diferentes zonas fisiográficas, generando así las diferencias observadas en densidad y distribución.

II.- Composición de la captura y datos pesqueros

8. Los datos indican que hubo un decaimiento en los volúmenes de captura de *P. argus* desde el año 1982, hasta llegar a cerca de 20,000kg (peso abdominal) durante la última década. En coincidencia con el establecimiento de la Reserva en el año de 1996, desde 1997 hasta el año 2004 se observa un ligero aumento en la captura con niveles hasta de 11,000kg por encima de la cifra antes citada, lo cual puede atribuirse a una recuperación en la población de langosta, más que a simples fluctuaciones temporales en el reclutamiento.
9. Las variaciones en la captura promedio por pescador y los patrones de captura mensual responden a los meses de veda y de vacaciones, observándose un aumento en la captura que se explica como resultado de la migración temporal de una fracción de la población desde las zonas profundas de refugio (>15m) hacia las zonas someras (<15m) de pesca. Esto define la distribución y la estratificación espacial de ciertos componentes de la población que es aprovechada, por lo que cualquier evaluación de dinámica poblacional realizada sobre la base de los datos de la captura deberá considerar que factores como la accesibilidad, capturabilidad y la estimación de parámetros de la población (como crecimiento, longevidad y mortalidad por pesca (F)), están referidos únicamente a la fracción de la población que se encuentra en zonas someras (<15m) en un tiempo dado, y pueden ser no representativas de la población general.

10. Con una $N = 142$, los organismos capturados presentaron un promedio de longitud abdominal (LA) de (18.6cm), una mediana (18cm) y una moda (16cm), que se encuentran por encima de la talla legal de captura (13.5cm LA). La proporción de tallas de longitud abdominal mostró que dentro de la fracción de la población que se captura se percibe un patrón de disminución de las tallas medias, debido a que cada vez son menos los individuos que llegan a tallas mayores en zonas someras, lo cual afecta el rendimiento promedio de los individuos y con ello el rendimiento por recluta de la población. Al considerar las longitudes cefalotorácicas (LC), las edades que se calcularon con parámetros estimados recientemente permitieron observar que la edad media de captura (con 11.1cm LC) equivale a 4.26 años de edad, y que la edad de reclutamiento a la pesquería (t_r) resulta en 2.28 años, lo cual coincide con una disminución en la edad de captura previamente planteada. Sin embargo, contrario a lo anterior, al realizar la conversión utilizando los mismos parámetros de Sosa-Cordero (2003), el valor de (t_r) resulta en 2.76 años, lo cual implica que el desplazamiento en el reclutamiento de 2.75 años en la temporada de 1983-85 a 2.5 años en la temporada 1989-91, que fue observado por el mencionado autor, puede haberse revertido en 2005. Este ejercicio mostró la necesidad de ampliar la muestra de captura y la necesidad de actualizar y calcular los propios parámetros de edad longitud en la RBBCh.

Al probar la cuarta hipótesis postulada: “La pesquería se encuentra operando cerca de su máxima capacidad productiva, por lo que la mortalidad por pesca no debe aumentar,” se concluye lo siguiente:

11. El cálculo de una mortalidad por pesca $F =$ de 0.29 para agosto del 2005 representa un valor relativamente pequeño al ser comparado con las F reportadas para años anteriores en la RBBCh ($F=0.3-0.38$). El presente valor resulta sólo de una muestra de la captura total y la pendiente de la cual se extrae el valor de F es muy sensible al número de datos, sin embargo dicha disminución en la mortalidad por pesca F puede ser reflejo de una recuperación en la salud de la población.

III Modelo de FISMO

12. Las estimaciones de las tasas de explotación “E” son dependientes de los valores de “F” calculados por el modelo que es escogido y por lo tanto también dependen de la robustez de éste. El modelo FISMO calcula que excepto durante las temporadas de 1990-91 y 1993-94, el *stock* ha estado sobre-explotado, o cercano al límite de la sobrepesca. A pesar de esto la captura muestra una estabilidad relativa e incluso una recuperación en sus niveles desde 1997 a la fecha.
13. Hay evidencias para decir que la biomasa de la población de langosta en Banco Chinchorro ha disminuido y se ha modificado a lo largo de la historia, y que existe incertidumbre en cuanto a las tasas de mortalidad por pesca F y explotación (E) que pudieron haber provocado los cambios, pero diferentes situaciones pueden haber favorecido el sostenimiento de los valores de captura y se especula que pueden ser: 1.) zonas de refugio que limitan la disponibilidad, 2.) una gran aportación de post-larvas que estén garantizando los niveles de reclutamiento, 3.) el respeto a la talla mínima legal, y 4.) medidas de control del esfuerzo (vedas y número de pescadores), que están siendo favorables para el *stock*.
14. Las simulaciones realizadas con una amplia serie de valores de mortalidad por pesca “F” y edad de primera captura “tc”, sugieren que la biomasa actual tiende a recuperarse aunque lentamente, con $F < 0.3$ y $t_c = 2$ o 3 años. Para las condiciones de la biomasa actual de la población, la mortalidad en el nivel de máximo rendimiento sostenible (FMSY) de 32.1 t y se obtiene a partir de un valor de $F = 0.15$, por lo que se recomienda fluctuar cerca de este valor. El modelo sugiere que la edad de primera captura (t_c) y la mortalidad por pesca (F) necesarias para mantener las condiciones actuales (>30 pangas en actividad), deben ser entre $0.05 > F < 0.3$ y $t_c = 3$.
15. Para mantener a más de 95 y hasta 114 pescadores en actividad, la F y los valores de tc que el modelo sugiere que se apliquen son: $0.1 > F < 0.25$ y una $t_c \leq 3$, ya que proveen el mayor número de empleos.
16. Según el modelo, para que en la pesquería se vuelvan a obtener niveles de captura cercanos a aquellos registrados a principios de los años 80 (64.8t), se deberá reducir la mortalidad por pesca (F) en un 2.5% cada año hasta llegar a una (F) de 0.06, lo cual equivaldría a una ampliación de una semana de veda en la primer temporada y menos de esto en años subsecuentes bajo una estrategia de manejo adaptable que permita el ajuste de los valores según las evaluaciones anuales que deriven de la implementación de un sistema de vigilancia regular
17. Por bien estimados que sean las evaluaciones, se recomienda que cualquier disposición de manejo que pudiera derivarse de la presente simulación, o de aquellas realizadas por diferentes autores, deberá aplicarse únicamente para el año siguiente, además de ser reevaluada anualmente. Así, los indicadores biológicos y económicos deberán revisarse continuamente para hacer ajustes, además de que deberá realizarse más investigación local para eliminar incertidumbre asociada a las estimaciones sobre fluctuaciones naturales en el crecimiento y la mortalidad natural de la población

REFERENCIAS

- Acosta CA, Robertson DN (2003) Comparative Spatial ecology of fished spiny lobster *Panulirus argus* and unfished congener, *P. guttatus* in an isolated marine reserve at Glovers Reef atoll, Belize. *Coral Reefs* 22:1-9
- Amigos de Sian Kaan (1997) Caracterización de Arrecifes de La Reserva de Biosfera de Banco Chinchorro. Reporte preeliminar correspondiente a la campaña de campo del 21 Abril al 13 de Mayo de 1997.
- Arce M, Clemetson M, González-Cano J., Marshaleck S., OBrian C., Puga R., Restrepo R., Richards G., Ríos-Lara V., Sosa-Cordero E., C. Z (2001) FAO Fish. Rep. 619. Part I: Lobster Assessment Reports. Región 2: Belize, Southwest Cuba, and México. In: P.A.H. M (ed) Report on the FAO/DANIDA/CFRAMP WECAFC regional workshops on the assessment of the Caribbean spiny lobster *Panulirus argus*. Belize City, Belize April 21-May 2, 1997 and Mérida Yucatán, México June 1-12 1998., p 52-73
- Arceo P, Arce AM, Briones-Fourzán P, Lozano-Álvarez E, Salas S, Seijo JC, Sosa-Cordero E (1997) La pesquería de Langosta *Panulirus argus* en la plataforma de Yucatán y Caribe mexicano. Análisis y diagnóstico de los Recursos Pesqueros Críticos del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. *EPOMEX Serie Científica* 7:101-126
- Arreguín-Sánchez F (1996) Catchability: a key parameter for fish stock assessment. *Reviews in fish Biology and Fisheries* 6:221- 242
- Baranov FI (1918) On the question of Biological bases of Fisheries, Vol. Nuchn. Issled. Ikntiol.
- Beverton RJH, Holt SJ (1957) On the dynamics of exploited fish populations. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Fisheries Investigations, Vol 19 series 2, London:1-533
- Briones-Fourzán P (1994) Variability of Postlarval recruitment of the spiny lobster *Panulirus argus* (Latreille, 1804) to the Mexican Caribbean Coast. *Crustaceana* 66(3):326-340
- Briones-Fourzán P, Lozano-Álvarez E (2001a) Effects of artificial shelters (Casitas) on the abundance and biomass of juvenile spiny lobsters *Panulirus argus* in a habitat-limited tropical reef lagoon. *Marine Ecology Progress Series* 221:221-232
- Briones-Fourzán P, Lozano-Álvarez E (2001b) The importance of *Lobophora Variegata* (Phaeophyta Dictyotales) as a habitat for small juveniles of *Panulirus argus* (Decapoda :Palinuridae) in tropical reef lagoon. *Bulletin of Marine Science* 68:207-219
- Briones-Fourzán P, Lozano-Álvarez E, Cabrera MA, P. A (1997) Biología y Ecología de las langostas (Crustacea: Decapoda: Palinuridae). Análisis y Diagnóstico de los Recursos Pesqueros críticos del Golfo de México. *Serie Científica* 7:496
- Caley MJ, M.H. Carr, M.A. Hixon, T.P. Hughes, G.P. Jones and B. A. Menge . (1996) A test of Recruitment and the local dynamics of open marine populations. *Annual Review of Ecological Systems*. 27:477-500
- Chávez EA (1996.) Simulating fisheries for the assessment of optimum harvesting strategies. *Naga, International Center for Living Aquatic Resource Management* 2:33-35
- Chávez EA (2005) FISMO: A generalized fisheries simulation model. Assessment and management of new developed fisheries in data-limited situations 21st Wakefield Fisheries Symposium. University of Alaska.:659-681.
- Chávez EA, Arreguín-Sánchez F (1993) Simulation Modelling for conch fishery management. pp. 125-136. International Symposium on Queen Conch Biology, Fisheries and Mariculture. Caracas, Venezuela.
- Chávez EA, Hidalgo E, Izaguirre MA (1985.) A Comparative Analysis of Yucatan Coral Reefs. Fifth International Coral Reef Congress, Tahiti. 6:355-361
- Cowen R, Castro L (1994) Relation of coral reef fish larval distributions to island scale circulation around Barbados West Indies. *Bulletin of marine science* 54(1): 228-244

- Cowen R.K., Lwiza KMM, Sponaugle S, Paris CB, Olson DB (2000) Connectivity of Marine Populations: Open or Closed? *Science* 287 (54):857 - 859
- Cox C, Hunt JH, Lyons WG, Davis GE (1997) Nocturnal foraging of the Caribbean spiny lobster (*Panulirus argus*) on Northshore reefs of Florida US. *Marine Freshwater Research*. 48:671-680
- Davis GE (1977) Effects of recreational harvest on a spiny lobster, *Panulirus argus* population. *Bulletin of Marine Science* 27:223-236
- de León M, Cruz R, Puga R (1995) Actualización de la edad y el crecimiento de la langosta espinosa *Panulirus argus*. *Revista Cubana Investigación Pesquera* . 19(2):3-8
- de León M, López-Martínez J, Lluch-Cota D, Hernández-Vázquez S, Puga R (2005) Decadal variability in growth of the Caribbean spiny lobster *Panulirus argus* (Decapoda: Palinuridae) in Cuban waters. *Revista Biología Tropical (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 53 (3-4):475-486,
- Deriso R (1987) Optimal $F=0.1$ criteria and their relationship to maximum sustainable yield. *Canadian Journal Fish and Aquatic Science* 44:339-348
- FAO (1995a) Code of Conduct for Responsible Fisheries. Twenty-eighth Session Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1995. C 95/REV. 1
- FAO (2001a) Fisheries technical paper 2001.
- FAO SC (2001b) REPORT 619 ON THE FAO/DANIDA/CFRAMP/WECAFC REGIONAL WORKSHOPS ON THE ASSESSMENT OF THE CARIBBEAN SPINY LOBSTER (*Panulirus argus*) BELIZE CITY, BELIZE, 21 APRIL - 2 MAY 1997 AND MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO, 1-12 JUNE 1998., FAO
- Fogarty M (1998) Implications of migration and larval interchange in American Lobster (*Homarus americanus*) stocks: spatial structure and resilience. in G.S. Jamieson and Campbell, eds. *Proceedings North Pacific Symposium Invertebrate Stock Assessment and Management*. Canadian Special Publication Fisheries Aquatic Science 125:273- 283
- Fonseca-Larios ME, Briones-Fourzán P (1998) Fecundity of the Spiny Lobster *Panulirus argus* (Latreille 1804) in the Caribbean Coast of México. *Bulletin of Marine Science* 63:21-32
- Fox W (1970) An exponential Surplus -Yield Model for optimizing Exploited Fish Populations. *Trans American Fishery Society* No.1
- González A, Torruco D, Liceaga A, Ordaz J (2003) Bathimetric Analisis for Banco Chinchorro. *Bulletin of Marine Science* 73:1:15-22.
- González-Cano J, Márquez-Farías F, Ramírez A (2001) Evaluación Preeliminar de la fracción de la población de langosta que se captura en aguas someras de Banco Chinchorro, Q. Roo. Instituto Nacional de Pesca, CRIP Pto. Morelos México
- González-Cano J, Porras RR, Aguilar CC (2000a) Componente langosta. En: Análisis de tres pesquerías en la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, Quintana Roo, México. Amigos de Sian Ka'an, INP y WWF Reporte Final. 61 p: 6-18
- González-Cano J, Ríos-Lara G, Ramírez-Estévez. A, Zetina-Moguel C, Aguilar-Cardozo K, Cervera-Cervera, Martínez J, Mena-Aguilar R, Coba-Ríos M (2000b) La pesquería de langosta en el Caribe. En: Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Evaluación y Manejo. Instituto Nacional de la Pesca. SEMARNAP México: 547-581
- González-Cano JM (1991) Migration and Refuge in the Assessment and Management of Spiny Lobster *Panulirus argus* in the Mexican Caribbean. Thesis submitted for the degree of Doctor in Philosophy and Diploma, Imperial College in the Faculty of Science of the University of London
- Gulland J, Boerema L (1973) Scientific advise on catch levels. *Fishery Bulletin* 71:325-335
- Herrnkind W (1980) Spiny Lobsters: patterns of movements; In J.S. Cobb and B.F. Phillips (eds.). *The Biology and Management of Lobsters. Physiology and Behavior*, Academic Press NY 1:349-407

- Hilborn R, Walters C (1992) Quantitative fisheries stock assessment: Choice, dynamics and uncertainty. In: Hall C (ed). New York and London, p 1-570.
- INE-SEMARNAP (2000) Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro. Publicaciones del Instituto Nacional de Ecología. México D.F.:60
- Jansen A (1996) Beverton and Holt life history invariants result from optimal trade off of reproduction and survival. *Canadian Journal Fish and Aquatic Science* 53:820-822
- Jordán E, Martín E (1987) Chinchorro: morphology and composition of a Caribbean atoll. *Atoll Resource Bulletin* (310):1-25
- Lipcius RN (1986) Size-dependent reproduction and molting in spiny lobsters and other long-lived decapods. In A. Wenner (ed.) *Crustacean issues*, Vol 3. Balkema Press, Rotterdam.
- Lipcius RN, Stockhausen TW, Eggleston DB, Marshall LS, Hickey BM (1997) Hydrodynamic Decoupling of Recruitment, habitat quality and adult abundance in the Caribbean spiny Lobster: source-sink dynamics? *Marine Freshwater Research* 48:807-815
- Lozano-Álvarez E (1992) Pesquería, dinámica poblacional y manejo de la langosta *Panulirus argus* (Latreille, 1804) en Bahía de la Ascensión, QR, México. Tesis Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México
- Lozano-Álvarez E (1994) Análisis del Estado de la Pesquería de la Langosta *Panulirus argus* en el Caribe Mexicano. In: Yáñez-Arancibia (ed) *Recursos Faunísticos del Litoral de la Península de Yucatán*, Vol Serie Científica 2. EPOMEX Universidad Autónoma de Campeche, p 43-55
- Lozano-Álvarez E, Briones-Fourzán P, Gonzalez-Cano J (1991) Pesca exploratoria de langostas con nasas en la plataforma continental del área de Puerto Morelos, Q.R., Méx. *Anuario Instituto Ciencias del Mar y Limnología*:49-58
- Lozano-Álvarez E, Briones-Fourzán P, Negrete-Soto F (1993) Occurrence and Seasonal Variations of Spiny Lobsters, *Panulirus argus*, (Latreille) on the shelf outside Bahía de la Ascensión, México. *Fishery Bulletin US* 91:808-815
- Lozano-Álvarez E, Briones-Fourzán P, Negrete-Soto F (2003) Chankanaab lagoon (Cozumel island, México) a prime refuge for spiny lobster (*Panulirus argus*)? *Bulletin of Marine Science* 72:1033-1042
- Lozano-Álvarez E, Briones-Fourzán P, Phillips B (1989) Spiny lobster in Bahía de la Ascension, Q.R. Mexico *Marine Science Proceeding Workshop México-Australia*, p 379-391
- Lozano-Álvarez E, Carrasco-Zanini G, Briones-Fourzán P (2002) Homing and Orientation in the Spotted Spiny Lobster, *Panulirus guttatus*, (Decapoda, Paniluridae), Towards a subtidal coral reef habitat. *Crustaceana* 75:859-873
- Lozano-Álvarez E, Negrete-Soto F (1991) Pesca exploratoria de la Langosta *Panulirus argus* con nasas frente a la Bahía de la Ascensión en el Caribe Mexicano. *Revista de Investigaciones Marinas (Cuba)* 12 (1-3):261-268
- Mace PM (1994) Relationships between common biological reference points used as thresholds and target of fisheries management strategies. *Canadian Journal Fish and Aquatic Science* 51:110-122
- Makradikis S, Wheelwright S, McGee V (1983) *Forecasting Methods and Applications*, Vol 1. John Wiley & Sons, New York
- Marx JM, Herrnkind W (1985) Macroalgae (*Rhodophyta Laurencia* spp.) as habitat for young juvenile spiny lobsters, *Panulirus argus*. *Bulletin of Marine Science* 36:423-431
- Melville-Smith R, Wing-Yuk C (2002) Responses of migrating western rock lobsters *Panulirus cygnus* (George 1962) to two different tagging release procedures. *Journal of Shellfish Research* 21:289-294
- Merino M (1986) Aspectos de la circulación costera superficial del Caribe mexicano con base en observaciones utilizando tarjetas de deriva. *Anuario Instituto Ciencias del Mar y Limnología UNAM* 13(2):31-46

- Olsen DA, Herrnkind WF, Cooper RA (1975) Population dynamics, ecology, and behavior of spiny lobsters, *Panulirus argus*, of St. John, US V.I: (I) Introduction to and general population characteristics. Natural History Museum Los Angeles City Science Bulletin 20:11-16
- Pearse PH (1982) Turning the tide: a new policy for Canada's Pacific fisheries. Ottawa, Canadian Department of Fisheries and Oceans
- Phillips B, Chaffee C (2000) A Pre-Assessment of the Banco Chinchorro Lobster Fishery in México. Prepared for the World Wildlife Fund, Scientific Certification Systems, Oakland CA.
- Pitcher CR, Skewes TD, Dennis DM, Prescott JH (1992) Estimation of abundance of the tropical lobster *Panulirus ornatus* in Torres Strait, using visual transect methods. Marine Biology 113:57-64
- Puga R, Vazquez S, Martinez J, de Leon M (2005) Bioeconomic modelling and risk assessment of the Cuban fishery for spiny lobster *Panulirus argus*. Fisheries Research 75:149-163
- Quinn IJ, Fagen R, Zheng J (1990) Threshold management policies for exploited population. Canadian Journal Fish and Aquatic Science 47:2016-2029
- Romero F (2001) Fisheries Research Initiative - Proceedings of the INCO-DEV International Workshop on policy options for sustainable use of coral reefs and associated ecosystems. Fisheries Research Report ACP-EU 10:165-173
- Sissenwine MP, Shepherd JG (1987) An alternative perspective on recruitment overfishing and biological reference points. Canadian Journal Fish and Aquatic Science 44:913-918
- Smith GB, Van Nierop M (1986) Abundance and potential yield of spiny lobster (*Panulirus argus*) on the Little and Great Bahama Banks. Bulletin of Marine Science 39:646-656
- Smith K, Herrnkind W (1992) Predation on early juvenile spiny lobsters *Panulirus argus* (Latreille): influence of size and shelter. Journal of Experimental Marine Biology Ecology 157:3-18
- Smith TM, Addison JT (2003) Methods for stock assessment of crustacean fisheries. Fisheries Research 65:231-256
- Sosa-Cordero E (2003) "Trends and Dynamics of the Spiny Lobster, *Panulirus argus*, resource in Banco Chinchorro, México". Bulletin of Marine Science 73 (1):203-217
- Sousa MJB (1987) Distribucao espacial e relacao especifica das langostas *Panulirus argus* Latreille e *Panulirus laevicauda* (Latrielle) no nordeste do Brasil. Tese de Graduacao no Departamento de Engenharia de Pesca, Fortaleza:p. 33
- Sparre P, Venema S (1992) Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. manual FAO Fisheries Technical paper 306/1., Rome, p 376 p
- Sponaugle S, Cowen RK (1994) Larval durations and recruitment patterns of two Caribbean gobies (Gobiidae): contrasting early life histories in demersal spawners. Marine Biology 120(1):133-143
- Stockhausen T, Lipcius RN, BM H (2000) Joint Effects of Larval dispersal, Population Regulation, Marine Reserve Design, and exploitation on production and recruitment in the Spiny Lobster. Bulletin of Marine Science 66(3):957-990
- Tewfik A, Guzman HM, Jácome G (1998) Distribution and abundance of the spiny lobster populations (*Panulirus argus* and *P. guttatus*) in Cayos Cochinos Honduras. Revista de Biología Tropical 46:123-136

AGRADECIMIENTOS

Aprovecho la publicación de este trabajo de tesis de maestría para agradecer a quienes se vieron involucrados de alguna u otra forma en el proceso de iniciar, aterrizar y concretar este trabajo desde el plano académico, económico y emocional. Esperando no olvidar mencionar a nadie y sin un orden específico agradezco de manera explícita:

A **Banco Chinchorro** por permitirme estudiarlo y bendecirme con esas experiencias inolvidables de contacto con la naturaleza expresada a su máxima potencia, donde fue inevitable perder el piso de la realidad entre langostas, corales, tortugas, delfines, tiburones, manglares, cocodrilos, aves, atardeceres, chaquistes y burbujas nitrogenadas.

A mis padres **Juan Ley y Jennifer Cooper** a quienes tendría que escribir una dedicatoria mayor a las dimensiones de ésta tesis para agradecerles por todo lo que han contribuido en los planos personal, emocional, intelectual, material, logístico, etc. Su apoyo incondicional es invaluable y no es posible resumir en el pequeño espacio aquí limitado, ya que este abarca desde el día en que fui concebido hasta la fecha actual donde se cierra un ciclo más de todos los que ellos han sido partícipes, porque son y serán siempre parte de mi desarrollo e historia.

A los **Ley-Gamboa Yusen, Toña y Amaru** porque siempre han estado presentes en todo el proceso a pesar de su distancia geográfica. Su luz ha logrado atravesar el océano pacífico y motivarme por vía cibernética o telefónica para seguir adelante y levantarme de uno de los tropezones mas complicados de mi vida. Con su desarrollo Amaru ha logrado hacerme revalorar la vida, ya que ha transmitido su felicidad incorrupta e infantil a todos los Ley-Cooper.

A mi directora **Dra Elva Escobar Briones**, quien después de haber tenido que lidiar conmigo en la licenciatura, accedió a dirigir y apoyarme en el desarrollo de la tesis de maestría, a pesar de lo complejo que fue adaptar el tema inicial a las necesidades personales y del posgrado. Agradezco en especial su valioso apoyo para mediar y platicar con los actores involucrados en las diferentes áreas, académicas y gubernamentales.

Al **Dr. Ernesto A. Chávez**, por sus consejos múltiples al conocernos dentro de la Reserva, por su incomparable ayuda académica con el modelo FISMO que fue adaptado a la presente tesis, por su apoyo moral a distancia en uno de los momentos más difíciles, por invitarme a realizar la estancia en CICIMAR y su propia casa compartiendo un muy buen tiempo con Belinda, Alejandra, Gaby y familia.

Al **Dr. Enrique Lozano** por ayudarme con la parte metodológica en la planeación del proyecto, a lo largo de todo el proceso previo en Quintana Roo y posteriormente como asesor y miembro del jurado. Los correos de respuesta fueron siempre alentadores y ayudaron a poner las cosas en perspectiva.

Al **Dr. Luis Eguiarte** por estar conmigo en todo el proceso y ser una inspiración como investigador y como persona. Su participación como estabilizador emocional entre lo académico y lo personal se agradece mucho.

Al **Dr. Manuel Gallardo** por su apoyo como asesor durante todos los tutorales, miembro del jurado y maestro en el curso de pesquerías, el cual fue útil para entender bien la población de *P. argus* de Chinchorro. A **Vicente Anislao** y **Alejandro Gómez** por su gran ayuda personalizada y desinteresada en términos de entendimiento sobre modelos de dinámicas poblacionales.

Al **Programa de Recursos Biológicos Colectivos de CONABIO** por el apoyo con financiamiento en el proyecto de consultoría que en su momento se tituló “Evaluación de la sostenibilidad de la pesquería de langosta *Panulirus argus* en la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro”. Esto fue esencial para la compra de materiales de buceo, trabajo en general y viáticos:

En especial a **Jorge Larson** por el apoyo institucional, intelectual, personal y como amigo en todo momento. Reconozco que sin sus sugerencias y apoyo no hubiera decidido realizar el presente trabajo; a **Lucy Neira** por su apoyo tipo maternal/amistoso y por haberme incentivado a iniciar el trabajo y sacarlo adelante; a **Erica López** por el apoyo logístico y apoyarme más como amigo que como simple colaborador; a **Maricarmen García** que sin estar oficialmente en el PRBC se vio involucrada en mi proyecto con un reconocido apoyo moral desde sus inicios; y a **Xitlali Aguirre** mas por su amistad que por cuestiones laborales. También dentro de CONABIO **Verónica Aguilar** y **Marcia Tambuti** por su alentadora compañía y palabras.

Al personal de **CONANP** y miembros colaboradores de la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro, quienes hicieron posible la realización de este trabajo, sobre todo en términos logísticos:

En especial al **Dr. Jaime González Cano** quien apoyó e impulsó el proyecto desde sus inicios como asesor académico, como funcionario de gobierno y como amigo. Sus ideas iniciales aterrizaron el objetivo principal del trabajo y me dedicó tiempo a pesar de sus múltiples cargos y actividades. Así mismo, agradezco a la Directora **Maricarmen García** y Subdirectora **Bárbara Reveles** por su apoyo brindado en todo momento durante la estancia en la Reserva, por confiar en la realización del presente trabajo, y por el apoyo antes durante y después del muestreo de campo. Nombraría en especial a **José Castro, Carmelo, Felipe Fonseca y Daniela Alonso** con quienes conviví intensamente durante el periodo de muestreo de campo, ya que fueron quienes capitanearon las embarcaciones y ayudaron en todo lo necesario para los buceos, alimentación y hospedaje durante la estancia, incluso ayudando a coleccionar datos realizando buceos y tomando fotos. **Gerardo Ríos** por ayudarme a elaborar el mapa de distribución y **Mercedes Sánchez** por administración y logística.

Al **Fideicomiso, la federación** y a las **Sociedades Cooperativas de Producción Pesquera Langosteros del Caribe, Andrés Quintana Roo y Pescadores de Banco Chinchorro** por auxiliarme con información fundamental y su conocimiento histórico sobre la especie, distribución (caladeros) e ideas sobre la tesis. En especial a los directivos, **Jaime Medina** e hijo, **Eduardo Pérez Catzin, el Secre, los Mayorga, el Frijol** y sobre todo a **Durán Gómez Obied** cuyo admirable conocimiento de campo del banco fue básico para realizar ésta tesis. Gracias a

todos por su compañía y amistad en general, son la mayor inspiración para la realización de ésta tesis.

A todos los del Laboratorio de Macroecología y Biodiversidad por su apoyo y compañía **Manuel, Myrna, Javier, Edith, Erica, Ramón, Citlali, Eduardo e Ivette**. En especial al **Neto Anaya, Ivette Cruz** y **Olmo Torres** por su incomparable amistad, compañía, actividades, apoyo, pláticas y reflexiones profundas e íntimas que fueron básicas en momentos de confusión y alegría.

A **Coyolxauhqui Delgado Oceja, Rosita e Ilde**, por haberme orientado y apoyado de manera desinteresada y con el corazón en la mano en momentos clave, que fueron determinantes para llegar a este punto. A **Clamidosporia** por su cariño inmesurable, por aguantar momentos tormentosos y por ayudarme a entender y superar muchas cosas, a pesar de la adversidad.

A los colaboradores y excelentes amigos del Cenote Azul por aguantar presión, malos humores y la locura en general de mi parte, apoyando y aportando de su parte en todo momento para sostener el lugar: **Juan Carlos, Citlali, Jaqui, Virginia, Adelaida, Dante, Darío, Leiden, Dani, Facu, Ricardo, Mario** y anexos.

A quienes no necesito clasificar porque ya sea presentes o ausentes han aportado en más de un sentido: **Fernando, Sam, Emiliano, Berni, Diego, Beto, Carlo, La Manu, Barbara, Lau, Yuri, Fernanda, Poncho, Jaime** a quienes no les tengo que decir lo que han aportado porque ya lo saben de voz propia.

A **Barbara Origlio** por compartir estos últimos 6 meses conmigo de manera intensiva con un apoyo diario en sentido emocional y práctico, siempre convirtiendo con muchísimo cariño lo rutinario y convencional en algo importante y motivador.

A todos los de **Razonatura** que ayudaron tanto y fungieron como familia durante mi estancia en el Sureste: **Eduardo Nájera, Ismael Talancón, Eliu Flores, Heidi Matus Laura Cardeña, Teo**.

A **Tony** y **Matrajt** por la atención y cuidado intensivo en cuestiones fundamentales para mi subsistencia como ser humano, además de su motivación y trabajo específico invertido para sacar este proyecto adelante.

Al **Dr. Ian Mac Donald** por haber compartido conmigo toda una experiencia científica de buceo y colecta de datos en Chinchorro, por sus sugerencias y apoyo en el proyecto.

Al **CONACYT** por haberme otorgado la beca de posgrado durante el cuarto semestre de la maestría.

ANEXOS

Captura para cálculo de edad y relación peso longitud Agosto 2005, sexo, longitud y peso abdominal de los individuos capturados por lancha y por el pescador Frijol

| | | | | | |
|----------------|---------------|-------------------|--------|---------|-----------------|
| 18/08/2005 | | # buzos | | 2 | SL=sedas largas |
| hora de inicio | 8:00a.m. | Capitan | FRUOL | 1 | SM=sedas med. |
| hora final | 14:00p.m. | Localidad la Olla | | | SC=sedas cortas |
| Profundidad | 20m | cerca de Emily | | | SS=sin sedas |
| | longitud | peso | | | Madurez |
| cantidad | abdominal cm. | gms. | machos | hembras | sexual |
| 1 | 15.8 | 240 | | 1 | SL |
| 2 | 16 | 240 | 1 | | |
| 3 | 21 | 500 | 1 | | |
| 4 | 17 | 260 | | 1 | SL |
| 5 | 17.5 | 300 | 1 | | |
| 6 | 16.5 | 240 | | 1 | SL |
| 7 | 18 | 350 | | 1 | SC |
| 8 | 18.5 | 400 | 1 | | |
| 9 | 18.8 | 400 | | 1 | SL |
| 10 | 19.5 | 360 | | 1 | SL |
| 11 | 17.5 | 360 | | 1 | SS |
| 12 | 16 | 220 | | 1 | SL |
| 13 | 21 | 500 | 1 | | |
| 14 | 16.5 | 240 | 1 | | |
| 15 | 15.8 | 220 | 1 | | |
| 16 | 16 | 260 | | 1 | SC |
| 17 | 13 | 80 | | 1 | SS |
| 18 | 14.4 | 400 | 1 | | |
| 19 | 18.5 | 370 | 1 | | |
| 20 | 17.7 | 360 | 1 | | |
| 21 | 19 | 440 | 1 | | |
| 22 | 16 | 260 | 1 | | |
| 23 | 18 | 320 | 1 | | |
| 24 | 17.6 | 280 | | 1 | SL |
| 25 | 16 | 320 | 1 | | |
| 26 | 17.5 | 380 | 1 | | |
| 27 | 16 | 240 | 1 | | |
| 28 | 17.6 | 280 | | 1 | SL |
| 29 | 14.2 | 210 | 1 | | |
| 30 | 17.5 | 360 | | 1 | SM |
| 31 | 15.8 | 300 | 1 | | |
| 32 | 18.5 | 360 | | 1 | SL |
| 33 | 21 | 380 | | 1 | SL |
| 34 | 17.3 | 340 | | 1 | SS |
| 35 | 19.9 | 420 | 1 | | |
| 36 | 19.8 | 360 | 1 | | |
| 37 | 21 | 500 | 1 | | |
| 38 | 16.6 | 250 | | 1 | SM |
| 39 | 16.2 | 320 | 1 | | |
| Promedios | 17.44871795 | 310.7692308 | 22 | 17 | |

Anexo II Sexo, longitud y peso abdominal/cefalotórax de 17 individuos capturados por la lancha del pescador apodado Secretario

| 19/08/2005 | | # buzos | | 2 | SL=sedas largas | |
|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|----------------|
| hora de inicio | 8:00a.m. | Capitan | SECRETARIO | 1 | SM=sedas med. | gramos totales |
| hora final | 11:37p.m. | Localidad | | | SC=sedas cortas | 5990 |
| Profundidad | 11m | CAYO LOBOS | | | SS=sin sedas | |
| | | | | | Madurez | |
| cantidad | long. Abdom. cms. | peso abdom. gms. | long. Carap. cms. | peso carap. gms. | sexual hembras | machos |
| 1 | 23 | 600 | 15 | 1500 | | 1 |
| 2 | 19.5 | 220 | 11 | 460 | 1SL | |
| 3 | 18 | 280 | 12 | 700 | | 1 |
| 4 | 20 | 360 | 12 | 560 | 1SL | |
| 5 | 18 | 380 | 10.5 | 400 | | 1 |
| 6 | 18.5 | 440 | 10.5 | 560 | 1SL | |
| 7 | 19.5 | 280 | 10.3 | 480 | 1SM | |
| 8 | 20 | 240 | 10.2 | 510 | 1SL | |
| 9 | 18.5 | 240 | 10 | 440 | 1SL | |
| 10 | 18.5 | 260 | 9.6 | 485 | 1SL | |
| 11 | 20.5 | 410 | 12.4 | 840 | | 1 |
| 12 | 19.5 | 320 | 9.8 | 440 | 1SC | |
| 13 | 17.5 | 310 | 9.6 | 480 | | 1 |
| 14 | 20 | 380 | 9.5 | 460 | | 1 |
| 15 | 23 | 420 | 12 | 640 | 1SL | |
| 16 | 21 | 400 | 13 | 680 | | 1 |
| 17 | 22 | 450 | 16.5 | 920 | | 1 |
| promedios | 19.82 | 352.35 | 11.41 | 620.88 | 9.00 | 8.00 |

Anexo III Sexo, longitud y peso abdominal/cefalotórax de 8 individuos capturados por la lancha del pescador Jesús.

| 19/08/2005 | | # buzos | | 2 | SL=sedas largas | |
|------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------|
| hora de inicio | 9:00a.m. | Capitan | jesus | 1 | SM=sedas med. | gramos totales |
| hora final | 12:00p.m. | Localidad | | | SC=sedas cortas | 2634 |
| Profundidad | 11m | NO CAYO LOBOS | | | SS=sin sedas | |
| | | | | | Madurez | |
| cantidad | long. Abdom. cms. | peso abdom. gms. | long. Carap. Cm | peso carap. gms. | sexual hembras | machos |
| 1 | 25 | 640 | 13.5 | 1040 | 1SL | |
| 2 | 25 | 640 | 14 | 1040 | 1SL | |
| 3 | 21 | 4 | 13 | 610 | | 1 |
| 4 | 17.5 | 280 | 10 | 490 | | 1 |
| 5 | 17 | 260 | 8.5 | 310 | | 1 |
| 6 | 15 | 200 | 9 | 360 | 1 | |
| 7 | 16 | 210 | | | | 1 |
| 8 | 21 | 400 | 14 | 660 | 1 | |
| promedios | 19.69 | 329.25 | 10.25 | 563.75 | 4 | 4.00 |

Anexo IV Sexo, longitud y peso abdominal/cefalotórax de 23 individuos capturados por la lancha del pescador Gaspar.

| 19/08/2005 | | # buzos | | 2 | SL=sedas largas | |
|-----------------|-------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| hora de inicio | 9:00a.m. | Capitan | gaspar | 1 | SM=sedas med. | gramos totales |
| hora final | 13:00p.m. | Localidad | | | SC=sedas cortas | 9690 |
| Profundidad | 7m-8m | NO CAYO LOBOS | | | SS=sin sedas | |
| | | | | | Madurez | |
| cantidad | long. Abdom. cms. | peso abdom. gms. | long. Carap. Cm | peso carap. gms | sexual hembras | machos |
| 1 | 18 | 280 | | | 1ss | |
| 2 | 22 | 420 | | | | 1 |
| 3 | 22.5 | 440 | | | 1sl | |
| 4 | 23.5 | 480 | | | 1sc | |
| 5 | 24 | 440 | | | | 1 |
| 6 | 20.5 | 270 | | | 1sl | |
| 7 | 22.5 | 480 | | | | 1 |
| 8 | 21.5 | 420 | | | | 1 |
| 9 | 19.3 | 390 | | | | 1 |
| 10 | 27 | 630 | | | 1sl | |
| 11 | 24.5 | 600 | | | | 1 |
| 12 | 21 | 400 | | | | 1 |
| 13 | 19 | 280 | | | 1sc | |
| 14 | 21 | 420 | | | | 1 |
| 15 | 21 | 340 | | | 1sc | |
| 16 | 23 | 440 | | | 1sl | |
| 17 | 20 | 380 | | | | 1 |
| 18 | 18 | 260 | | | | 1 |
| 19 | 22 | 480 | | | | 1 |
| 20 | 17 | 300 | | | 1sm | |
| 21 | 22 | 440 | | | | 1 |
| 22 | 25 | 620 | 13 | 1000 | 1sl | |
| 23 | 22 | 480 | 12.5 | 800 | | 1 |
| promedio | 21.58 | 421.30 | 12.75 | 900.00 | 10 | 13.00 |

Anexo V Sexo, longitud y peso abdominal/cefalotórax de 55 individuos capturados por la lancha del pescador Ismael.

| 19/08/2005 | | # buzos | | 2 | SL=sedas largas | gms totales |
|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|-------------|
| hora de inicio | 9:00a.m. | Capitan | ismael | 1 | SM=sedas med. | 14433 |
| hora final | 15:00p.m. | Localidad | | | SC=sedas cortas | |
| Profundidad | | SO cayo centro | | | SS=sin sedas | |
| | | | | | Madurez | |
| cantidad | long. Abdom. cms. | peso abdom. gms. | long. Carap. cms. | peso carap. gms. | sexual hembras | machos |
| 1 | 21 | 413.5 | 13.5 | 600 | 1sm | |
| 2 | 15 | 210 | 10 | 300 | | 1 |
| 3 | 16 | 200 | 11 | 400 | | 1 |
| 4 | 21 | 360 | 13 | 520 | 1sc | |
| 5 | 17.5 | 240 | 11 | 400 | | 1 |
| 6 | 17 | 220 | 10.5 | 320 | 1ss | |
| 7 | 17 | 200 | 10.5 | 400 | | 1 |
| 8 | 18 | 210 | 10.5 | 400 | 1ss | |
| 9 | 18.5 | 280 | 11.5 | 420 | | 1 |
| 10 | 20 | 460 | 14 | 650 | | 1 |
| 11 | 19 | 320 | 11.5 | 460 | 1sc | |
| 12 | 19.5 | 520 | 12.3 | 500 | | 1 |
| 13 | 17 | 170 | 10.5 | 280 | 1sc | |
| 14 | 18.5 | 240 | 12.5 | 440 | | 1 |
| 15 | 20.5 | 410 | 14 | 550 | | 1 |
| 16 | 16 | 210 | 11.3 | 60 | | 1 |
| 17 | 14.5 | 200 | 9.6 | 310 | | 1 |
| 18 | 21.3 | 413 | 13 | 630 | 1sm | |
| 19 | 19 | 260 | 12 | 410 | | 1 |
| 20 | 16.7 | 150 | 10.5 | 290 | 1ss | |
| 21 | 22 | 410 | 13 | 40 | SL=sedas largas | |
| 22 | 16.5 | 210 | 10.5 | 410 | SS=sin sedas | |
| 23 | 19.5 | 280 | 11.5 | 520 | SM=sedas med. | |
| 24 | 17 | 200 | 10.3 | 400 | M | |
| 25 | 17 | 380 | 11 | 360 | SS=sin sedas | |
| 26 | 17 | 210 | 10.2 | 400 | m | |
| 27 | 17 | 440 | 11.5 | 400 | | 1 |
| 28 | 18 | 440 | 10.5 | 360 | SM=sedas med. | |
| 29 | 15 | 360 | 9 | 320 | s | |
| 30 | 22.5 | 450 | 14 | 780 | SM=sedas med. | |
| 31 | 16 | 190 | 10 | 240 | | 1 |
| 32 | 15 | 170 | 9.5 | 320 | SS=sin sedas | |
| 33 | 17.5 | 280 | 11 | 400 | SM=sedas med. | |
| 34 | 15.5 | 190 | 10 | 300 | m | |
| 35 | 19 | 250 | 11 | 400 | SM=sedas med. | |
| 36 | 16 | 200 | 10.5 | 360 | m | |
| 37 | 19 | 250 | 11 | 400 | SM=sedas med. | |
| 38 | 16 | 200 | 10.5 | 360 | m | |
| 39 | 16 | 200 | 9.8 | 280 | m | |
| 40 | 16 | 170 | 10.5 | 300 | SS=sin sedas | |
| 41 | 17 | 200 | 10.5 | 360 | SS=sin sedas | |
| 42 | 16.5 | 200 | 10.5 | 400 | m | |
| 43 | 17 | 200 | 10.5 | 320 | SS=sin sedas | |
| 44 | 17 | 240 | 11 | 400 | SS=sin sedas | |
| 45 | 18 | 280 | 11.5 | 440 | SC=sedas cortas | |
| 46 | 17 | 240 | 13 | 450 | m | |
| 47 | 16 | 240 | 10.5 | 320 | SS=sin sedas | |
| 48 | 18.3 | 240 | 10.5 | 400 | SC=sedas cortas | |
| 49 | 16.5 | 200 | 10.8 | 320 | m | |
| 50 | 15.3 | 190 | 9.5 | 310 | m | |
| 51 | 20 | 280 | 11.5 | 440 | SS=sin sedas | |
| 52 | 20.5 | 360 | 12 | 600 | m | |
| 53 | 19.5 | 330 | 11.5 | 480 | SL=sedas largas | |
| 54 | 17.5 | 240 | 12.5 | 370 | SS=sin sedas | |
| 55 | 16.5 | 240 | 10.5 | 360 | SC=sedas cortas | |
| Promedio | 17.69 | 269.94 | 11.17 | 393.82 | 40 | 14 |