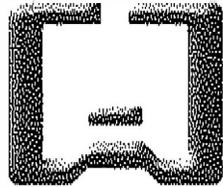


Centro de Investigación en Alimentación y
Desarrollo, A. C.



"Modelación espacial de la pesca industrial
de camarón en el sureste del Golfo de
California, utilizando un sistema de
información geográfica"

Por:

Ricardo Meraz Sánchez

tesis aprobada por la:
UNIDAD MAZATLÁN
DE ACUICULTURA Y MANEJO AMBIENTAL

Como requisito parcial para obtener el grado de:
MAESTRÍA EN CIENCIAS

Mazatlán, Sinaloa

Septiembre de 2007

APROBACION

Los miembros del comité designado para revisar la tesis de Ricardo Meraz Sánchez, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias, con especialidad en manejo Ambiental.



Dr. Arturo Ruiz Luna
Director de tesis



Dr. Juan Madrid Verdu



Cesar Berlanga

Dr. Cesar Alejandro Berlanga Robles



Dr. Miguel Blancourt Lozano

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

Se permiten citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se de el crédito correspondiente. Para la reproducción total o parcial de esta tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del director del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD).

La publicación en comunidades científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa aprobación escrita del director de tesis.

Dr. Alfonso Antero Gardea Béjar
Director General del CIAD, A. C.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, el Dr. Arturo Ruiz, por su apoyo, tiempo, paciencia y dedicación durante la realización del presente trabajo.

Al Dr. Juan Madrid, por su ayuda y consejos, tanto en la realización de la tesis como la obtención de la información utilizada.

A los integrantes del comité de tesis, Dr. Cesar Berlanga y Dr. Miguel Betancourt, por sus aportaciones y sugerencias que ayudaron a enriquecer este trabajo.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. por darme la oportunidad de seguir avanzando en mis estudios.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado durante la realización de la tesis.

Al Instituto Nacional de la Pesca (CRIP-Mazatlán) y la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, por su apoyo invaluable al facilitar la información generada en sus programas de investigación.

A los integrantes del Laboratorio de Manejo Ambiental: Aimeé, Alma, Priscila, Serbia, Karina y José, quienes hacen tan feliz la estancia en el CIAD-MZT.

A mis compañeras del curso Kari, Cathe, Sofí y Perla, con quienes espero seguir compartiendo grandes momentos.

A los compañeros caídos del postgrado del CIAD-MZT; Betty, Pablo, Pollo, Edgar y Zohar, quienes espero la maestría les haya servido para obtener un buen trabajo.

A los maestros y compañeros del CIAD-MZT en general que contribuyeron en mi formación académica.

Al M. C. Rafael Hernández por las contribuciones académicas y técnicas realizadas durante la realización del trabajo.

A la B. P. Luz Adriana Ontiveros por su comprensión, ayuda y apoyo moral, mostrado a lo largo de la realización del trabajo.

DEDICATORIA

A mi novia:

Luz Adriana

A mi madre:

Maria Magdalena

A mi Abuela:

Herminia

A mi tía:

Griselda

Y a toda mi Familia

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	II
RESUMEN	V
ABSTRACT.....	VI
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES.....	4
OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVOS PARTICULARES	10
ÁREA DE ESTUDIO.....	11
MATERIAL Y MÉTODOS	14
SUBSISTEMA I: ZONA DE PESCA	15
SUBSISTEMA II: RECURSO.....	16
SUBSISTEMA III: ESFUERZO	20
SISTEMA: CATEGORIZACIÓN DE LA PESQUERÍA	25
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	28
SUBSISTEMA I: ZONA DE PESCA.....	28
SUBSISTEMA II: RECURSO.....	31
<i>Análisis de datos.....</i>	<i>31</i>
<i>Distribución de la abundancia.....</i>	<i>34</i>
SUBSISTEMA III: ESFUERZO	47
<i>Análisis de datos.....</i>	<i>47</i>
<i>Variable: Profundidad</i>	<i>49</i>
<i>Variable: Distancia a Puerto</i>	<i>53</i>
<i>Variable: Distancia a la Boca más Cercana.....</i>	<i>55</i>
<i>Distribución del Esfuerzo.....</i>	<i>56</i>
SISTEMA: CATEGORIZACIÓN DE LA PESQUERÍA.....	60
CONCLUSIONES	65
LITERATURA CITADA	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Superficie (km^2) estimada de las subzonas de pesca.	30
Tabla 2. Numero de arrastres (n), Promedio (\bar{x}), desviación estándar (s) y probabilidad de la presencia por especie y año, de los muestreos realizados en el mes de agosto por el CRIP-Mazatlán (kg).	32
Tabla 3. Proporción (%) y captura total (kg) por especie y año, de los muestreos realizados por el CRIP-Mazatlán en el mes de agosto de 2004 al 2006.	33
Tabla 4. Coeficiente de determinación (r^2) y valor de la pendiente (b) de la regresión entre $CPUE$ promedio y esfuerzo de pesca de camarón café, por año y método de interpolación.	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zonificación del Pacífico Mexicano para estudios pesqueros de camarón (INP, 2005). En recuadro rojo las zonas incluidas en el presente trabajo.	11
Figura 2. Área de estudio y subzonas. Basándola en la propuesta del INP (2001) en función de la distribución de sistemas lagunares en Sinaloa y norte de Nayarit.	12
Figura 3. Esquema del SIG que se integro para la modelación espacial de la pesca industrial de camarón en el sureste del golfo de California.	14
Figura 4. Distribución de las estaciones de muestreo de la zona 30 y 40 (INP, 2001).	17
Figura 5. Modelo batimétrico con límite en la cota de los 85 m de profundidad, dividido por subzonas.	29
Figura 6. Parte de la subzona 35 que no es muestreada por el INP dentro del círculo rojo. Los puntos negros representan las estaciones de muestreo y los polígonos en verde las subzonas de muestreo.	30
Figura 7. Distribución espacial y biomasa vulnerable estimada (kg/km^2) con el método de IDW en la zona 30 y 40 en el mes de agosto de 2006 para camarón; a) café, b) azul y c) blanco.	35
Figura 8. Distribución espacial y biomasa vulnerable estimada (kg/km^2) con el método de IDW en la zona 30 y 40 en el mes de agosto de 2005 para camarón; a) café, b) azul y c) blanco.	36
Figura 9. Distribución espacial y biomasa vulnerable estimada (kg/km^2) con el método de IDW en la zona 30 y 40 en el mes de agosto de 2004 para camarón; a) café, b) azul y c) blanco.	37
Figura 10. Distribución espacial y biomasa vulnerable estimada (kg/km^2) con el método de Kriging en la zona 30 y 40 en el mes de agosto de 2006 para camarón; a) café, b) azul y c) blanco.	38
Figura 11. Distribución espacial y biomasa vulnerable estimada (kg/km^2) con el método de Kriging en la zona 30 y 40 en el mes de agosto de 2005 para camarón; a) café, b) azul y c) blanco.	39
Figura 12. Distribución espacial y biomasa vulnerable estimada (kg/km^2) con el método de Kriging en la zona 30 y 40 en el mes de agosto de 2004 para camarón; a) café, b) azul y c) blanco.	40
Figura 13. Mapa de varianzas estimada con kriging, para el camarón café (kg/h) en el año de 2006.	41

Figura 14. Media y desviación estándar de la biomasa vulnerable (kg/km^2) por especie, año y método de interpolación.	42
Figura 15. Media y desviación estándar de la biomasa vulnerable (kg/km^2) de camarón café por subzona, y método de interpolación con el valor promedio de los tres años de estudio (2004 – 2006).	43
Figura 16. Media y desviación estándar de la biomasa vulnerable (kg/km^2) de camarón azul por subzona, y método de interpolación con el valor promedio de los tres años de estudio (2004 – 2006).	44
Figura 17. Media y desviación estándar de la biomasa vulnerable (kg/km^2) de camarón blanco por subzona, y método de interpolación con el valor promedio de los tres años de estudio (2004 – 2006).	45
Figura 18. Coeficiente de determinación de la captura estimada con los métodos de interpolación de IDW y kriging, por subzonas, especies y años, para una $n = 63$ ($r^2 = 0.69$; $p < 0.01$).	46
Figura 19. Barcos camaroneros con velocidad ≤ 2 nudos en el área de estudio en los meses de septiembre a diciembre de 2006.	47
Figura 20. Zona de mayor conflicto en la definición del área de estudio, con respecto a los datos de esfuerzo aplicado por la flota camaronera industrial registrados por la CONAPESCA.	48
Figura 21. Distribución de probabilidades ($f(x)$) de la abundancia de camarón por especie con respecto a la profundidad (m).	49
Figura 22. Perfiles de verosimilitud y probabilidad $1-\text{chi}^2$ para los cuatro parámetros del modelo de weibull en el camarón café.	51
Figura 23. Perfiles de verosimilitud y probabilidad $1-\text{chi}^2$ para los cuatro parámetros del modelo de weibull en el camarón azul.	52
Figura 24. Perfiles de verosimilitud y probabilidad $1-\text{chi}^2$ para los cuatro parámetros del modelo de weibull en el camarón blanco.	53
Figura 25. Ajuste a un modelo de distribución Normal de la relación: Número de barcos camaroneros vs distancia a puerto (km). Los puntos representan el número de barcos obtenido de datos procedentes del programa de seguimiento satelital de CONAPESCA.	54
Figura 26. Perfiles de verosimilitud y probabilidad $1-\text{chi}^2$ de los parámetros de una distribución normal del número de barcos con relación a la distancia a puerto.	54
Figura 27. Ajuste a un modelo de distribución log-Normal de la relación: Número de barcos camaroneros vs distancia a la boca más cercana puerto (km). Los puntos representan número de barcos obtenido de datos procedentes del programa de seguimiento satelital de CONAPESCA.	55

- Figura 28. Perfiles de verosimilitud y probabilidad $1-\chi^2$ de los parámetros de una distribución log-Normal del número de barcos con relación a la distancia a la boca mas cercana..... 56
- Figura 29. Distribución espacial del esfuerzo de pesca (h/km^2) en la zona 30 y 40 en los meses de septiembre a diciembre de 2006 para camarón; a) café, b) azul y c) blanco. 57
- Figura 30. Media y desviación estándar del esfuerzo aplicado (h/km^2) por subzona y especie en los meses de septiembre a diciembre de 2006..... 58
- Figura 31. Nivel de riesgo de explotación de camarón café en función del esfuerzo pesquero y de la abundancia relativa promedio del recurso durante tres años de estudio (2004 a 2006) con el método de IDW. 62
- Figura 32. Nivel de riesgo de explotación de camarón café en función del esfuerzo pesquero y de la abundancia relativa promedio del recurso durante tres años de estudio (2004 a 2006) con el método de Kriging. 62

RESUMEN

Se propone un método para el análisis de la pesca industrial de tres especies de camarón en el noroeste de México, que integran la dimensión espacial y temporal de la actividad, utilizando aplicaciones de sistemas de información geográfica (SIG) en la plataforma de ArcView 3.2. Con datos de captura y de esfuerzo proporcionados por el Instituto Nacional de la Pesca (INP-CRIP Mazatlán) y la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA) para el período 2004-2006, se categorizó la pesquería con una perspectiva espacial, en función de la distribución de la abundancia del recurso y del esfuerzo de pesca aplicado. El SIG se integró con tres subsistemas, el primero de los cuales (subsistema I) permitió delimitar la zona potencialmente usada por la flota industrial, con base en datos batimétricos. Dentro del subsistema II se estimó la distribución de la abundancia del recurso mediante técnicas de interpolación (Kriging e IDW) y finalmente se estimó de forma indirecta la distribución del esfuerzo de pesca (subsistema III), usando como variables del modelo la profundidad, la distancia al puerto de embarque y la distancia a la boca más cercana, para los que se estimó el mejor ajuste a modelos de distribución, con criterios de máxima verosimilitud. Se obtuvo una superficie de aproximadamente 14,000 km², que en mayor medida es utilizada por la flota de arrastre. La distribución de la abundancia relativa de las especies de camarón azul, blanco y café (*Litopenaeus stylirostris*, *L. vannamei* y *Farfantepenaeus californiensis*) presenta diferencias latitudinales y batimétricas según la especie, mientras que en términos de la distribución del esfuerzo no se determinaron las diferencias espaciales en la zona de pesca por ausencia de información sobre la especie objetivo de pesca. Siguiendo los principios de modelos de producción excedente, solo se obtuvo una relación estadísticamente significativa entre la CPUE y el esfuerzo para la especie: de camarón café ($r^2 > 0.5$), por lo que fue la única especie para la que se caracterizó la actividad. Con los dos métodos de interpolación se obtuvo una similitud $>65\%$ en cuanto a la distribución de áreas categorizadas como de bajo y alto riesgo de sobreexplotación de la especie, quedando en evidencia que la mayor parte de la zona de estudio se encuentra dentro de la categoría de alto riesgo. Geográficamente la zona con mayor frecuencia de alto riesgo se ubica al sur, donde la abundancia relativa de esta especie es más baja. El análisis de los resultados permite concluir que la integración SIG al análisis de pesquerías facilita el acceso a volúmenes importantes de datos, además de mantener los patrones espaciales y temporales contenidas en la información. A partir de este tipo de herramientas se hace posible contar con una aproximación del estado espacial de la pesquería, proporcionando elementos para establecer medidas de manejo diferencial de la misma, en particular de zonas con deterioro manifiesto, a consecuencia de un excesivo esfuerzo aplicado en zonas con baja abundancia relativa.

ABSTRACT

This study proposes a method for the analysis of the shrimp species from the industrial fishery in Northwest Mexico, integrating the time and spatial dimensions, using applications of geographic information systems (GIS) in ArcView 3.2 platform. Catch and effort data from the National Institute of Fishing (INP-CRIP Mazatlán) and the National Commission for Aquaculture and Fishing (CONAPESCA) from 2004 to 2006, were used to spatially categorize the fishery, as a function of the resource abundance and fishing effort distribution. The GIS was integrated with three subsystems. To restrict the potential area used by the industrial fleet (subsystem I), bathymetric data used. The resource relative abundance distribution (subsystem II) was estimated using two interpolation techniques (Kriging and IDW), and the fishing effort distribution (subsystem III) was empirically estimated, using depth, distance to the nearest port and distance to the nearest lagoon or river mouth, as variables. Each variable was fitted to the best distribution model using maximum likelihood criteria. A total surface around 14,000 km² was described as the total fleet fishing area. The relative abundance distribution for the blue, white and brown shrimp (*Litopenaeus setiferus*, *L. vannamei* and *Farfantepenaeus aztecus*) shows significant differences by species, while it was not possible to determine fishing effort distribution differences due to the data absence on the target species by vessel. Following the surplus production model principles, only the brown shrimp CPUE and effort data set obtained a statistically significant relationship ($r^2 > 0.5$) and thus, just this fishery was categorized. The similarity between outputs using both interpolating methods was $> 65\%$, regarding the distribution of the areas categorized as low and high risk of over-exploitation. Most of the study area was associated with high risk levels. Spatially, the region more frequently displaying high risk areas is located to the south, where the relative abundance of the brown shrimp is low. One conclusion from results indicates that integrating GIS to the fisheries analysis make it easy the access to large amount of data, maintaining the spatial and time patterns they endorse. The use of this kind of tools provokes with doubts to account with a spatial approach, that could be the introduction of criteria for a differential management of the fishery, specially for those areas where deterioration is imminent, as a consequence of excessive fishing effort applied on low relative abundance sites.

INTRODUCCIÓN

Conforme avanza el desarrollo de nuevas tecnologías para los muestreos, la generación de datos sobre recursos naturales provenientes de diversas fuentes se ha incrementado de manera importante en todos los ámbitos del conocimiento, incluyendo el pesquero. Así, el análisis de la información se complica conforme el número de datos aumenta, haciéndose necesario contar con herramientas que permitan el manejo y análisis de grandes volúmenes de información, por lo que los sistemas de bases de datos se han convertido en una herramienta esencial para la organización de gran cantidad de información. Si aunado a ello la información generada cuenta con atributos geográficos y temporales, como ocurre con algunos datos derivados de la actividad pesquera, los sistemas de información geográfica (SIG) juegan un importante papel en su integración, actuando como herramientas de apoyo al análisis y manejo de los recursos (Caddy y García, 1986).

Entre las aplicaciones informáticas destaca el diseño de bases de datos, sistemas de posicionamiento global (GPS por sus siglas del inglés), diseño gráfico, técnicas de percepción remota y los SIG, mostrando un marcado desarrollo positivo durante los últimos años, permitiendo un importante avance en el análisis espacial de los recursos naturales, que en conjunto, ayudan a mantener los atributos geográficos de la información. Sin embargo, las aplicaciones de estas herramientas para el manejo de recursos naturales marinos, si bien puede ser diversa, han tenido un desarrollo inferior al alcanzado en aplicaciones terrestres (Le Pape *et al.*, 2003; Ackerman *et al.*, 2006; Moy *et al.*, 2006).

A nivel mundial cada vez cobra más importancia la incorporación de la dimensión espacial dentro de la evaluación de recursos pesqueros, tanto por el avance de las técnicas de análisis, incluidos los SIG, como por el volumen de información disponible con atributos geográficos. El conocimiento de la distribución espacial y temporal, tanto del recursos como del esfuerzo de pesca, puede proporcionar elementos

para propósitos de manejo de pesquerías, adicionales a los que ofrecen los estudios clásicos de pesquerías (Riolo, 2006; Morris y Ball, 2006). Algunos de los estudios que integran el uso de SIG a la pesca, han tenido solo un enfoque descriptivo o de análisis de hábitat de las especies objetivo, pero otros como los de Munro y Thompson (1983), Caddy y García (1986) y Corsi (2000a), incorporan herramientas del análisis clásico de pesquerías, como es el caso de los modelos de producción excedente, siendo este enfoque seguido en el presente trabajo.

En México el número de trabajos publicados sobre la aplicación de los SIG en el manejo de recursos pesqueros es relativamente bajo y se ha orientado principalmente tanto hacia la acuicultura (Aguilar-Manjarrez y Ross, 1995; Aguilar-Manjarrez, 1996; Díaz y López, 2000), como a las pesquerías artesanales (Montana, 2005). Sin embargo, y dado que existen recursos pesqueros que por su importancia económica son prioritarios, como es el caso del atún, sardina y camarón, entre otros (INP, 2001), la disponibilidad de información con referencia geográfica ha aumentado, aunque en la mayoría de los casos no se incorpora en el análisis, mismo que pudiera dar información adicional para el manejo del recurso.

Dada las capacidades actuales de los SIG, es posible incorporar prácticamente cualquier tipo de modelo matemático, por lo que su integración a los modelos clásicos de dinámica poblacional usados en pesquerías es factible y depende únicamente de la calidad y cantidad de datos con atributos espaciales que pueden ser utilizados por el modelo. Bajo esas consideraciones, la integración de modelos pesqueros y los SIG se constituyen como una herramienta importante, no sólo para crear mapas sobre la distribución de hábitat y del propio recurso, sino también para la identificación de la distribución del esfuerzo de pesca, el cálculo espacial de la captura, o bien, para determinar el estado de alguna pesquería en particular (Corsi, 2000b; Tracey, 2001; Le Pape *et al.*, 2003).

Bajo las consideraciones anteriores, el presente estudio integra información espacialmente referida en un SIG, con los parámetros de los modelos de producción excedente, particularmente la *CPUE* y el esfuerzo de pesca. El estudio tiene como

supuesto principal que el ajuste de un modelo de esta naturaleza, en el que se dimensiona la distribución espacial del recurso y del esfuerzo, ayudará a ubicar aquellas zonas que se encuentran sometidas a un mayor esfuerzo, posiblemente en proceso de deterioro, derivado de un esfuerzo de pesca excesivo. La presente propuesta pretende contribuir con un enfoque integral para la aplicación de medidas de manejo diferencial de la pesquería, encaminado a prevenir el impacto sobre áreas con baja abundancia del recurso o alto esfuerzo de pesca, favoreciendo así, la sustentabilidad no sólo de esta pesquería, sino del ecosistema en general.

ANTECEDENTES

La producción pesquera de México, tanto en volumen como en valor económico es soportada principalmente por las capturas provenientes del litoral del Pacífico, que suministra cerca del 80% del total nacional. Dentro de los recursos que aporta, destaca el denominado genéricamente como camarón, que agrupa a diversas especies de camarones peneidos, principalmente de los géneros *Farfantepenaeus* y *Litopenaeus* (CNP, 2006).

Esta pesquería genera alrededor de 60,000 toneladas por año a nivel nacional, de las que cerca del 65-70 % provienen del litoral Pacífico. La pesca de camarón ocupa el primer lugar nacional en cuanto al valor comercial del producto, aportando divisas con valores próximos a 5000 millones de pesos, aproximadamente el 40% del valor total de la producción nacional. La flota camaronera ocupa el 42% de la longitud de atraque del total nacional, convirtiéndola en una pesquería muy tecnificada, que genera alrededor de 37,0000 empleos directos e indirectos (INP, 2001).

Se considera que la pesquería está aprovechada al máximo y por su relevancia, las autoridades en materia de pesca señalan que algunos de los principales objetivos en el manejo de la pesquería consisten en lograr la conservación de la biomasa y el reclutamiento, mantener los rendimientos y reducir las interacciones tecnológicas y ambientales (INP, 2001; CNP, 2006). Asimismo recomiendan no incrementar el esfuerzo pesquero y disminuir la mortalidad por pesca en aquellas zonas donde se requiera.

Para alcanzar esos objetivos se requiere de una mayor comprensión de la distribución del recurso, de su dinámica y de su ambiente. Por lo anterior, el mapeo de las pesquerías y sus recursos se considera una tarea prioritaria, ya que aún cuando no se cuente con toda la información necesaria, los patrones de distribución del recurso visualizados a través de un SIG permiten identificar rápidamente zonas críticas de pesca y en algunos casos categorizar hábitat para determinadas especies y etapas del ciclo de vida (Stoner *et al.*, 2001; Valavanis *et al.*, 2004). Este proceso no requiere contar con

toda la información ya que al evidenciarlas se pueden resolver durante el mismo proceso (Caddy y García, 1986).

En la actualidad los SIG han sido empleados como herramientas de gran utilidad para el manejo las pesquerías, siendo en sistemas de pesca industrial y en países de Europa, Canadá, Estados Unidos y Japón, entre otros, donde se tienen los principales avances. La generación de software para estudio de pesquerías, caracterización de las zonas de pesca, descripción de los hábitat de peces y la creación de herramientas para manejo, son algunos de los trabajos realizados recientemente con base en el desarrollo de los SIG (Le Pape *et al.*, 2003; Riolo, 2006).

Con respecto a las características particulares de los SIG, aunque existen diversas opiniones y definiciones que acentúan su componente de base de datos, sus funcionalidades gráficas o el hecho de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones, en general se coincide en considerar a los SIG como sistemas diseñados para trabajar datos con atributos geográficos, donde se da una secuencia de captura de datos, procesos y salida de información, usualmente útil para la toma de decisiones, integrado dentro de un entorno tecnológico avanzado (Meaden y Kapetsky, 1991).

Si bien el desarrollo de SIG se remonta a principios de los años 1960, su evolución ha sido significativa y en la actualidad tienen gran diversidad de aplicaciones, tanto desde el punto de visto comercial y técnico, como científico y académico. Sin embargo con relación al manejo de recursos, la mayoría de los trabajos que utilizan técnicas de SIG se enfocan en ambientes terrestres y para ambientes acuáticos preferentemente dulceacuícolas (Wei *et al.*, 2002).

En el ámbito terrestre-costero, la aplicación de los SIG inició a finales de la década de 1970, utilizando esta herramienta para la identificación de áreas idóneas para la instalación de granjas acuícolas, manejo de zonas costeras y estudios de maricultura (Bartlett, 2000; Meaden, 2000). El uso de esta herramienta en ambientes marinos se ha aplicado principalmente en investigaciones sobre la distribución de recursos, la descripción de hábitat y la definición de usos o conservación de áreas, lo cual coloca a

los SIG como herramientas eficaces para el análisis espacial y temporal de los datos (Garibaldi y Caddy, 1998; Valavanis *et al.*, 2004).

En México el uso de SIG en el ámbito pesquero todavía no ha sido significativo, contándose con algunos trabajos recientes sobre el uso de SIG como elemento de apoyo para el manejo de la pesca artesanal de Sinaloa (Montana y Ruiz, 2003; Montana, 2005). Además se han hecho estudios de planeación de desarrollo costero, integración de información de cruceros científicos y selección de zonas para arrecifes artificiales (Padilla, 2002; Boyer-Quero y Acosta-Jimeno, 2001).

Actualmente, las condiciones para el uso de aplicaciones geográfico-informáticas en pesquerías mexicanas, particularmente en pesquerías industriales, han incrementado su factibilidad por la introducción de programas como el de “Sistema de localización y seguimiento satelital” que incorpora tecnologías de posicionamiento global (GPS) en embarcaciones pesqueras, lo que permite el monitoreo de la actividad en tiempo real. La pesca de atunes y otras especies de pelágicos se ve auxiliada con el análisis de imágenes de satélite que permiten determinar la distribución de temperaturas superficiales, con las que es posible asociar la distribución del recurso. Aunado a ello el INP cuenta con programas de observadores a bordo y de monitoreo de algunas de las especies más importantes como atún, sardina y camarón.

El poder disponer de información georeferenciada sobre el recurso, los medios de producción y la actividad pesquera es pues entonces una preciada herramienta de ayuda a la decisión en ordenación pesquera. La toma en consideración de la dimensión espacial no es un problema trivial en la pesca, tanto por la dificultad de observación, como por la dinámica de los fenómenos estudiados.

Particularmente para la pesquería de camarón, el Instituto Nacional de la Pesca (INP) está realizando el programa “Camarón” desde 1992, donde se evalúa este recurso durante los meses de veda de junio a agosto, lo que permite determinar el término de la veda y el inicio de la temporada de captura de camarón del Pacífico mexicano. Los objetivos del programa, son analizar y evaluar el crecimiento, migración, abundancia, distribución y madurez sexual de las especies de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*),

blanco (*L. vannamei*) y café (*Farfantepenaeus californiensis*) principalmente, sin descartar otras especies capturadas.

El programa cuenta con una red de estaciones de muestreo bien definida y en cada estación se efectúan lances con dos redes de arrastre camaroneras de duración conocida. A partir de estos lances se estima la composición por especies, la abundancia relativa (kg/h de arrastre), la estructura de tallas (longitud total) y de sexos, los estadios de madurez reproductiva, y la distribución espacial y batimétrica de la abundancia. Adicionalmente se registran datos físicos y ambientales de interés como la profundidad, temperatura y salinidad de la superficie del mar, así como la posición geográfica, características de las artes de pesca, tiempos y áreas de arrastre (INP, 2001).

Aparte de los objetivos establecidos por el INP, la información generada por este programa ha servido para la realización de trabajos de investigación relacionados con esta actividad. Pérez (2003) utilizó métodos de máxima verosimilitud para las estimaciones de biomasa y su gradiente con la temperatura y profundidad del camarón blanco y Paredes (2006) utilizó métodos de análisis bayesiano para determinar valores de biomasa y otros parámetros de pesca de camarones, con reducción de los niveles de incertidumbre. A pesar de ello sus resultados son globales y no permiten un análisis espacial sobre la abundancia.

Por ello se considera necesario fomentar programas de evaluación de recursos que incluyan la utilización de herramientas espaciales encaminadas a evaluar recursos y en ese sentido, muestreos sistemáticos, como los realizados por el INP proporcionan valiosa información tanto del recurso como de los parámetros físicos que lo afectan con la ventaja de adicionar la referencia geográfica para su análisis.

Babcock *et al.* (2005) mencionan que el uso de este tipo de herramientas espaciales en el análisis de la actividad pesquera, ayudan al establecimiento de estrategias de manejo adecuadas para el cuidado de los ecosistemas en los que se desarrolla tal actividad, y a partir de esta información, generar nuevos puntos de referencia que incluyan el componente espacial. Corsi (2000a) incluye el componente espacial en la actividad pesquera y caracteriza el estado de la pesquería espacialmente,

dando igual importancia a la distribución tanto de la flota pesquera como de la abundancia del recurso. Otros autores como Fox y Starr (1996), Corsi (2000a), Ruttan (2003), Valavanis *et al.* (2004) y Morris y Ball (2006), han estado desarrollando SIG para pesquerías industriales y la mayoría de ellas son pesquerías de arrastre, por lo que se consideran como un antecedente importante para el desarrollo metodológico del presente trabajo.

Por lo anterior, y dadas las ventajas que ofrece el uso de los SIG y la importancia que tiene la pesquería de camarón en nuestro país, el presente trabajo pretende utilizar un SIG para categorizar las zonas de pesca utilizadas por la flota industrial de camarón, diferenciándolas en función de la abundancia de recurso, así como de la intensidad del esfuerzo pesquero aplicado. Por las características de la información disponible para la pesca de camarón, así como de las dimensiones espacial y temporal involucradas en esta actividad, se plantea la utilización de modelos de producción excedente en asociación con SIG como principal herramienta y apoyo técnico para la realización del presente trabajo.

Los modelos de producción excedente, generalmente aplicados a series de tiempo, se basan en el supuesto de que un incremento en el esfuerzo global de pesca reducirá proporcionalmente la biomasa, utilizándose a la captura obtenida por unidad de esfuerzo (*CPUE*) como su estimador. La herramienta más utilizada para la estimación de los parámetros del modelo es la regresión lineal con ajuste por mínimos cuadrados (Schaefer, 1955), pero recientemente se incluyen ajustes no lineales para el tratamiento del error y el análisis bayesiano (Madrid-Vera *et al.*, 2003).

Este enfoque que toma más en cuenta las dimensiones espaciales, permitirá nuevas vías de exploración de datos procedentes de la captura de camarón mediante redes de arrastre en grandes áreas geográficas. La mayoría de los estudios sobre producción de camarón no incorporan el análisis de los aspectos espaciales, sin embargo, con el advenimiento de los SIG y el uso de sistemas de posicionamiento geográfico conocidos como GPS, una gran cantidad de investigaciones pesqueras incorporan actualmente esta variable (Politis, 2003). Así, el tener más en cuenta la

dimensión espacial con anterioridad a la toma de decisiones por parte de los gestores permite considerar reglamentaciones más realistas desde el punto de vista de su aplicabilidad.

OBJETIVO GENERAL

Modelar la pesquería industrial de camarón en el sureste del golfo de California desde una perspectiva espacial mediante el desarrollo de un sistema de información geográfica de 2004 a 2006.

Objetivos Particulares

1. Delimitar el espacio geográfico con actividad de la flota industrial de camarón en el sureste del golfo de California.
2. Determinar la distribución de la abundancia del recurso a partir de muestreos en época de veda de 2004 a 2006.
3. Proponer un modelo de distribución del esfuerzo pesquero de la flota industrial durante la temporada de pesca.
4. Categorizar espacialmente la pesquería de camarón de 2004 a 2006.

ÁREA DE ESTUDIO

La pesquería industrial de camarón abarca la mayor parte de la costa del Pacífico mexicano, incluyendo el golfo de California. Para fines administrativos, el INP dividió la región del Pacífico en nueve zonas, de las que sólo las zonas 30 y 40, correspondientes a las costas de Sinaloa y norte de Nayarit, que se incluyen dentro del área de estudio del presente trabajo (Fig. 1). A su vez estas zonas fueron divididas en subzonas, diferenciándolas por su asociación con los sistemas lagunares más importantes del área (Fig. 2).

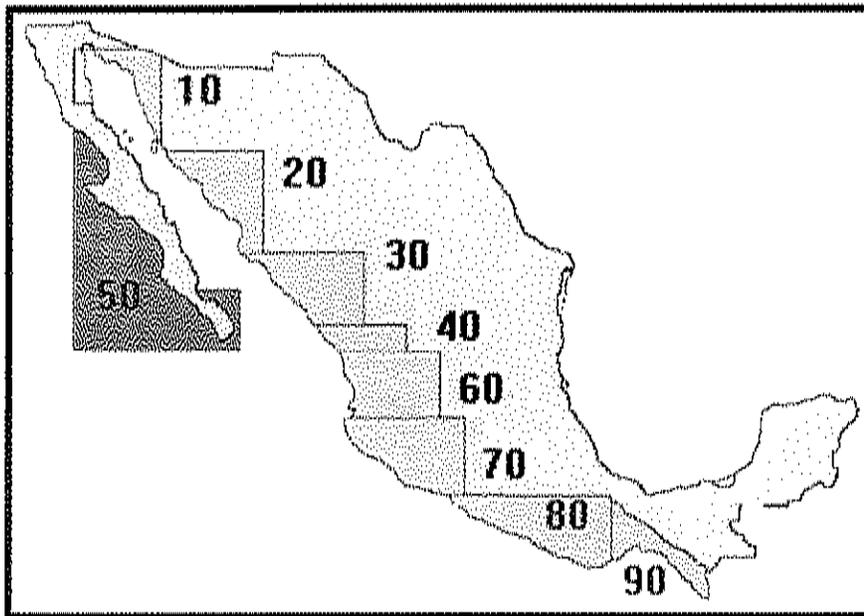


Figura 1. Zonificación del Pacífico Mexicano para estudios pesqueros de camarón (INP, 2005). En recuadro rojo las zonas incluidas en el presente trabajo.

En general, el área de estudio se encuentra ubicada en la parte sureste del golfo de California, presentando una alta influencia continental, con claros gradientes latitudinales. La temperatura del mar varía con valores mayores al sur y menores al norte en primavera y invierno, en otoño es homogénea con alrededor de 30 °C. La precipitación también presenta un gradiente de menor a mayor de norte a sur, semejante a la temperatura. En cuanto a la salinidad el Golfo de California se considera una gran

cuenca de evaporación, con valores altos en comparación con el mar abierto (De la Lanza Espino G. y F. Flores Verdugo, 2003).

Según la clasificación de Carranza-Edwards *et al.* (1975), Sinaloa se ubica en la unidad morfotectónica VII, presentando una diversidad de ambientes costeros como; lagunas costeras, esteros y bahías, que pueden ser importantes áreas para la reproducción y crianza de camarón. Por su extensión, algunos de los sistemas más importantes del área son; Topolobambo-Ohuira, Navachiste-San Ignacio, Santa María-La Reforma, Altata-Ensenada del Pabellón, Ceuta, Urías, Huizache-Caimanero y Teacapán-Agua Brava. Los principales ríos que alimentan a éstos sistemas son el Fuerte, Sinaloa, Mocorito, Culiacán, Piaxtla, Elota, Quelite, San Lorenzo, Presidio y Baluarte, en Sinaloa, mientras el río Las Cañas, es limítrofe entre Sinaloa y Nayarit y el río Acaponeta, se ubica en el norte de Nayarit.

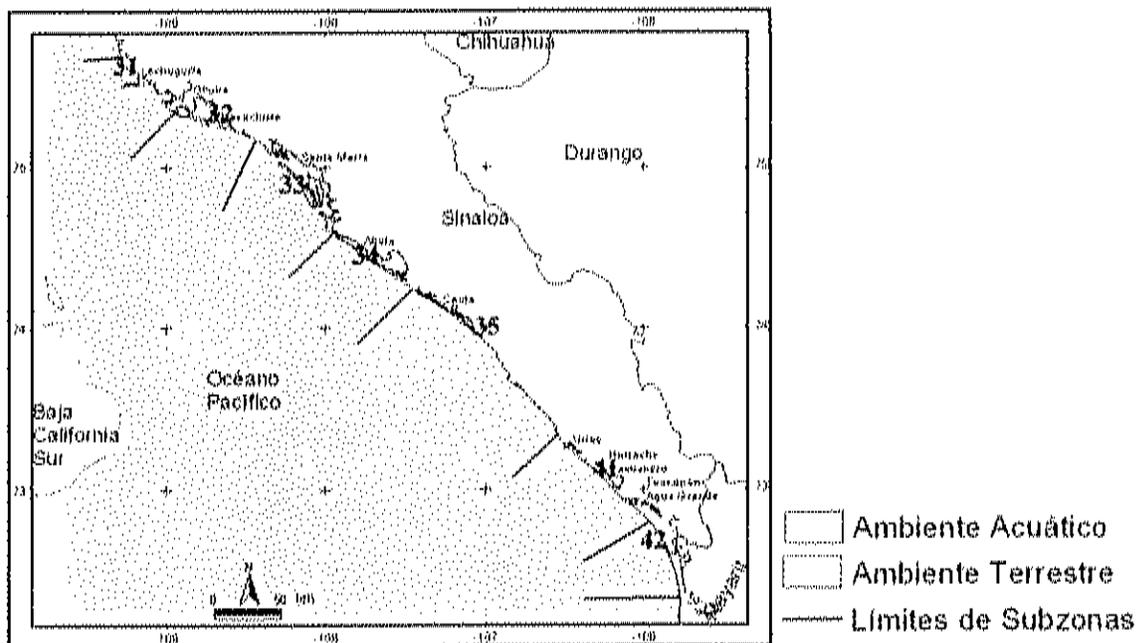


Figura 2. Área de estudio y subzonas, Basándola en la propuestas del INP (2001) en función de la distribución de sistemas lagunares en Sinaloa y norte de Nayarit.

La región estudiada se caracteriza por presentar importante infraestructura pesquera, principalmente en los puertos de Topolobampo y Mazatlán (siendo éste último el más importante del país para la pesquería de camarón), albergando entre ambos el 50% de la

flota industrial de camarón de México, que en conjunto integra a aproximadamente 800 barcos y cuya producción genera cerca del 65% de la captura anual de camarón en México (INP, 2001). De acuerdo con la reglamentación pesquera vigente, señalada en la NOM-002-PESC-1993, la pesquería industrial de camarón se desarrolla a partir de las 5 brazas de profundidad (≈ 9.5 m) y, en función de los equipos y de la distribución del recurso, se alcanzan profundidades máximas de aproximadamente 45 brazas (≈ 85 m). Dado que no se cuenta con un modelo batimétrico oficial, la extensión del área de estudio se calculó a partir de datos procedentes de diversas fuentes, como se señala en el apartado de métodos.

MATERIAL Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló teniendo como base el modelo clásico de rendimiento máximo sostenible (RMS) publicado por Schaefer en 1954 para pesquerías. Esta aproximación se basa en la curva de captura – esfuerzo, donde es posible obtener un valor de producción para cada nivel de esfuerzo aplicado, generando un valor máximo que teóricamente es sostenible y estable (Schaefer, 1955). Con esta base teórica el presente trabajo explora el modelado espacial de las variables involucradas en el modelo de Schaefer, para lo cual se diseñó un SIG conformado por tres subsistemas, que incluye la delimitación del área de estudio dentro del ambiente marino, un modelo espacial de la distribución de la captura y un modelo de la distribución del esfuerzo (Fig. 3). El proceso en general, se desarrolló en la plataforma de ArcView 3.2.

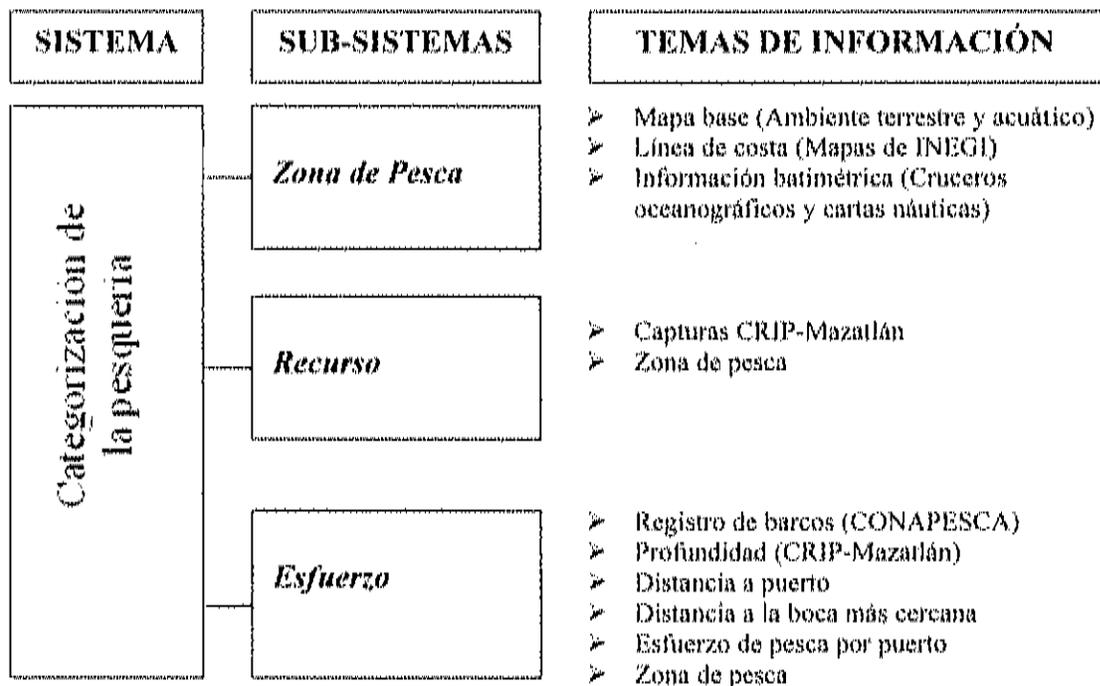


Figura 3. Esquema del SIG que se integro para la modelación espacial de la pesca industrial de camarón en el sureste del golfo de California.

Subsistema 1: Zona de pesca

Para ubicar la zona con mayor factibilidad de operación de la flota industrial, se establecieron los límites del área de estudio en el ámbito marino dentro de los límites latitudinales propuestos por la zonificación del INP (2005), aproximadamente entre los paralelos 22° 11' y 25° 47' N y los meridianos 109° 29' y 105° 41' O. Al no contarse con un mapa batimétrico validado oficialmente, se generó un modelo batimétrico basado en más de 1,400 puntos de profundidad georreferidos. La información fue recopilada por el Laboratorio de Manejo Ambiental a partir de datos de diversos cruceros oceanográficos llevados a cabo en el B/O El Puma de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), así como en campañas oceanográficas y pesqueras del INP, particularmente las llevadas a cabo durante la época de veda de camarón, entre 1995 y 2006. De igual manera se contó con la información procedente de las cartas náuticas de la región (portulanos) producidos por la Secretaría de Marina a escalas 1:50 000 y 1:750 000. La línea de costa se digitalizó a partir de los mapas vectoriales de INEGI (1:250 000). Toda la información fue estandarizada al Sistema Internacional de Medidas (SI) con el metro como unidad de medida.

Una vez que la información fue uniformizada, se generó un modelo batimétrico utilizando técnicas de interpolación. Las técnicas de interpolación se pueden definir como un procedimiento matemático utilizado para predecir el valor de un atributo i en una localización j a partir de valores del atributo obtenidos de puntos vecinos ubicados al interior de la misma región. La técnica de interpolación utilizada fue la lineal mediante el método de triangulación (Lawson, 1977). Esta tarea se llevó a cabo con el paquete Surfer v.7, definiendo como límites mínimo la línea de costa, y máximo la profundidad equivalente a 45 brazas (≈ 85 m), profundidad a la que está restringida la operación de pesca debido a la nula presencia del recurso.

El mapa creado para la zona de pesca se procesó en formato raster con un tamaño de píxel de 1 km² y en coordenadas geográficas latitud-longitud expresada en grados decimales. A partir de este mapa se crearon el resto de los mapas, siendo consistentes los

datos geográficos al aplicarse el mismo sistema de referencia, lo que permitió que toda la información generada presentara las mismas características espaciales para poder realizar análisis comparativos.

Subsistema II: Recurso

Para el presente objetivo se utilizaron los datos de captura de camarón proporcionados por el CRIP-INP del año 2004 al 2006. La obtención de los datos forma parte del programa “Camarón”, que realiza evaluaciones de este recurso durante los meses de veda, de junio a agosto.

La información utilizada en este trabajo incluye: la captura de camarón por especie (kg), tiempo de la operación de pesca (h), profundidad a la que se realizó el arrastre (brazas, posteriormente convertidas a metros) y posición geográfica del área de pesca (latitud-longitud). La red de muestreo que sigue el programa Camarón consta de 62 estaciones distribuidas a lo largo de la plataforma continental de Sinaloa y norte de Nayarit, en profundidades que van de 5 a 85 metros, lo que define la zona donde se lleva a cabo la actividad de la flota industrial de pesca de camarón (Fig. 4). Se considera que en promedio existe un error de ubicación de las estaciones de muestreo, generado por procesos de deriva, de aproximadamente 2.5 km (Madrid-Vera, *com. pers.*)¹. A partir de esta información anterior, se estandarizó la captura a kilogramos por hora de arrastre (kg/h), considerándose el resultado como la captura por unidad de esfuerzo (*CPUE*), que a su vez es un indicador de la abundancia del recurso, específicamente de su biomasa (Schaefer, 1955).

Para simular la distribución de la *CPUE*, e integrarla al SIG, se partió de la red de muestreo y del área de estudio, creándose un tema o capa de información dentro del ambiente de ArcView 3.2. El primer tema, denominado “Capturas CRIP-Mazatlán”, fue construido a partir de la información proporcionada por el CRIP-INP, generándose una

¹ Dr. Juan Madrid Vera. CRIP-Mazatlán, INP, México

capa vectorial de puntos. El tema "Zona de pesca", con la batimetría incluida, fue el segundo tema utilizado en este apartado, representado con un formato raster o de celdas.

Debido a que los muestreos son puntuales y no cubren toda la región de interés, se procedió a utilizar técnicas de interpolación para desarrollar mapas de contornos de densidad a partir del tema "Capturas CRIP-Mazatlán", teniendo como base los datos de CPUE por estación y por fecha. Las técnicas de interpolación utilizadas, fueron IDW (Ponderado de la distancia inversa) y Kriging (Isaaks y Srivastava, 1989; Cressie, 1990), que fueron seleccionadas por sus características técnicas descritas a continuación, pero también por considerarse como algunas de las principales técnicas de interpolación aplicadas en estudios de pesquerías y por su disponibilidad para incorporarse al SIG en la plataforma de ArcView 3.2 (De Graaf *et al.*, 2003).

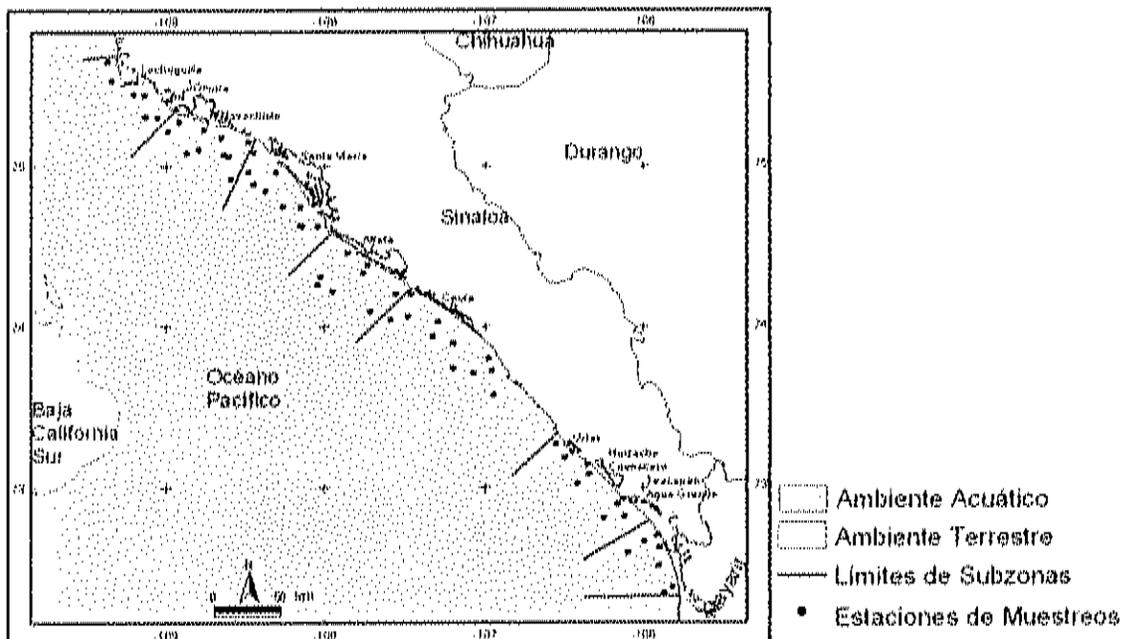


Figura 4. Distribución de las estaciones de muestreo de la zona 30 y 40 (INP, 2001).

La técnica de IDW, es un método de interpolación espacial que genera una malla regular de puntos a partir de una nube irregular de puntos de muestreo. Esta técnica estima el valor de un área no muestreada como una media ponderada de un número definido de puntos o áreas próximas, y la ponderación asignada a cada vecino disminuye a medida que la distancia de éste aumenta. La interpolación de IDW produce una superficie

relativamente irregular exhibiendo fidelidad con los datos de entrada. Este método tiene la ventaja de que es rápido y funciona bien cuando la densidad de puntos de muestreo es alta, aunque es un procedimiento sensible a diseños de muestreos no uniformes (Isaaks y Srivastava, 1989). Para el presente trabajo el IDW fue aplicado usando los 10 puntos más cercanos y una ponderación de dos. Considerando la captura como el parámetro de entrada, la fórmula general que utiliza el paquete de ArcView 3.2 para la interpolación es:

$$z_j = \frac{\sum z_i / d_{ij}^\beta}{\sum 1 / d_{ij}^\beta}$$

Ec. 1

Donde z_j es la *CPUE* estimada (kg/h); z_i es la *CPUE* observada (kg/h); β es el exponente de ponderación y d_{ij} es la distancia entre los puntos de muestreo (km).

A diferencia de la técnica anterior, el método de Kriging genera una interpolación suave, exhibiendo menor fidelidad a los datos de entrada. Éste es un método geoestadístico que se basa en la premisa de que la variación espacial del fenómeno es estadísticamente homogénea a lo largo de la superficie. Su formulación matemática aplica variogramas como funciones de ponderación (Cressie, 1990). El variograma expresa la variación espacial de los datos y se define como la mitad de la media cuadrada de la diferencia de todos los pares de datos que están separados a una distancia h . La fórmula general del variograma es:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (z(x_i) - z(x_i + h))^2$$

Ec. 2

Donde $\gamma^*(h)$ es el valor del variograma a la distancia h ; h es la distancia entre los pares de puntos; N es el número de pares y $Z(x_i)$ es la localización y valor de la muestra (kg/h).

Este método es muy útil por su carácter predictivo cuando se dispone de pocos datos de muestreo, además que crea un mapa de las varianzas de la interpolación, con las

que se pueden observar las áreas que presentaron mayor incertidumbre en las estimaciones. En el presente trabajo se utilizó el modelo de variograma que generó el mejor ajuste de los datos de captura, utilizando tres criterios de optimización: Aikake, Bayesiano y de mínimos cuadrados, que genera el programa. Las fórmulas utilizadas por el programa para obtener el mejor ajuste fueron las siguientes:

- Criterios de Información Aikake (AIC):

$$AIC = (n \times \ln(\sum (Obs - Esp)^2)) + (2 \times P) \quad \text{Ec. 3}$$

- Criterios de Información Bayesiano (BIC):

$$BIC = (n \times \ln(\sum (Obs - Esp)^2)) + (P \times \ln(n)) \quad \text{Ec. 4}$$

- Mínimos Cuadrados (RMSE):

$$RMSE = \left(\frac{\sum (Obs - Esp)^2}{n - 1 - P} \right)^2 \quad \text{Ec. 5}$$

Donde n es el número de datos y P es el número de parámetros, ArcView trabaja con tres parámetros por omisión.

Las técnicas de interpolación, utilizando una resolución de 1 km² por píxel, se aplicaron a las capturas de las especies *Farfantepenaeus californiensis*, *Litopenaeus stylirostris* y *L. vannamei* (camarón café, azul y blanco, respectivamente), las más importantes en función de su volumen de captura y precios en el mercado nacional e internacional.

Después de obtener las estimaciones de *CPUE* se procedió a estimar la biomasa vulnerable. El método utilizado fue el de evaluación de área barrida (Fox y Starr, 1996; Fortunati *et al.*, 2002) con un factor de probabilidad de presencia del recurso. Este método consiste en calcular el área recorrida por la red de arrastre en el momento de la faena de pesca y para el presente trabajo se utilizó la estimación de Pérez (2003) quien calculó que el área total efectiva de barrido (ATEB) en los barcos camaroneeros que realizan los muestreos del CRIP-INP es de 0.106 km² (10.6 ha) en una hora de arrastre.

Con base en lo anterior, la captura estimada de camarón, dividida entre el ATEB, genera estimaciones de la captura media. Este resultado fue multiplicado por el área total

representada en cada píxel (1 km^2) y ponderado en función de un valor de probabilidad de presencia del recurso, calculado como el cociente del número de estaciones que presentaron valores de captura > 0 y el número total de estaciones. Como resultado final se obtuvo la biomasa vulnerable por píxel (kg/km^2), que se puede definir como la parte de la biomasa total accesible al arte de pesca. La sumatoria total de los píxeles arroja como resultado la biomasa total vulnerable del área de estudio.

El principal supuesto en este procedimiento es que la densidad o abundancia estimada es proporcional a la abundancia presente en la totalidad del área examinada (Sparre & Venema, 1995), considerando un coeficiente de capturabilidad equivalente a la unidad y se define matemáticamente como:

$$B = \left[\frac{C \times A_t}{A_b} \right] p$$

Ec. 6

Donde B es la biomasa estimada para cada píxel (kg/km^2); C es la captura estimada por píxel (kg); A_t es el área del píxel (1 km^2); A_b es el área efectiva de barrido (0.106 km^2) y p es la probabilidad de la presencia del recurso ($p = \text{número de muestras con valores diferentes de cero entre el número total de muestras}$).

Los resultados se analizaron a nivel espacial (subzonas propuestas por el INP) y temporalmente (años analizados), mediante un análisis de correlación para determinar la relación que puedan presentar estos con respecto a las dos técnicas de interpolación utilizadas, con la finalidad de observar tendencias espaciales y temporales, además de observar si hay diferencias entre ambos métodos de interpolación.

Subsistema III: Esfuerzo

Una vez que se generó un modelo de distribución de la biomasa disponible en períodos donde no existe la pesca, se utilizaron los datos generados a partir del programa de Sistema de Localización y Seguimiento Satelital de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA), programa que tiene como propósito contribuir a

un óptimo aprovechamiento de los recursos pesqueros y marinos, a través del control de las operaciones de la flota pesquera nacional mediante la utilización de sistemas de posicionamiento (GPS) instalados en todas las embarcaciones de pesca industrial.

Los datos proporcionados por la CONAPESCA constan de posición geográfica en la que se localizaban las embarcaciones al momento del registro (latitud-longitud), fecha (día, mes y año) y velocidad (nudos) a la que están operando las embarcaciones que se encuentra dentro del área de estudio. Para evitar sobredimensionar el esfuerzo se utilizó la información de la velocidad como indicador de las operaciones de pesca. Para ello se realizó una depuración de los datos dejando solo los datos que correspondían a velocidades ≤ 2 nudos de velocidad, ya que es la velocidad más probable a la que puede estar operando un barco camaronero.

Debido a que la ubicación de los barcos que se encuentran operando en la zona de pesca no permiten una clara interpretación sobre la distribución del esfuerzo de pesca, además de que este tipo de información no puede ser comparada fácilmente con la distribución del recurso, se decidió trabajar con valores de densidad del esfuerzo (Riolo, 2006). Asimismo, la información disponible sobre las embarcaciones no incluye la especie objetivo de la pesca, por lo que el análisis de distribución del esfuerzo se llevó a cabo de manera general para su posterior asociación con las capturas de las tres especies de camarón analizadas en el presente trabajo.

Se utilizó el modelo propuesto por Corsi (2000b) para evaluar la distribución del esfuerzo pesquero por especies de camarón con base en las propiedades del SIG. Este modelo considera a la actividad pesquera como un proceso ecológico y trata de explicar la distribución del esfuerzo pesca por medio de variables que están relacionadas con la actividad. Para el presente trabajo se contó con la información sobre profundidad, distancia al puerto de desembarque y distancia a la boca más cercana, que se consideraron como las variables asociadas a la actividad, generándose las correspondientes capas en formato vectorial de ArcView 3.2, utilizadas para la evaluación.

La variable “profundidad” se utilizó por ser una variable ambiental relacionada con la distribución del recurso, particularmente útil cuando existe un gradiente en la distribución de las especies (Hendrickx, 1996), como es en el caso de las distintas especies de camarón, permitiendo una aproximación a la distribución del esfuerzo por especie. La información para el análisis se derivó a partir de los datos de los muestreos en temporada de veda del CRIP-INP y se ajustó a un modelo de Weibull de cuatro parámetros que permitió caracterizar la distribución vertical por especie de camarón por medio de un ajuste no lineal. Para este análisis se asumió que el esfuerzo de pesca es dependiente de la abundancia del recurso, de esta manera la distribución del esfuerzo está directamente relacionada con la distribución de la abundancia del recurso (Morris y Ball, 2006). El modelo de Weibull utilizado fue:

$$CPUE = a_0 \left(\frac{a_3 - 1}{a_3} \right)^{\frac{1-a_3}{a_3}} \left[\left(\frac{X - a_1}{a_2} \right) + \left(\frac{a_3 - 1}{a_3} \right)^{\frac{1}{a_3}} \right]^{a_3 - 1} e^{- \left\{ \left[\left(\frac{X - a_1}{a_2} \right) + \left(\frac{a_3 - 1}{a_3} \right)^{\frac{1}{a_3}} \right] + \left(\frac{a_3 - 1}{a_3} \right) \right\}}$$

Ec. 7

Donde *CPUE* es la captura por unidad de esfuerzo de camarón (kg/h), *X* es la profundidad (m); y los parámetros del modelo de Weibull son: amplitud (a_0), centro (a_1), ancho hacia el lado derecho del centro (a_2) y ancho hacia el lado izquierdo del centro (a_3).

La variable “distancia del puerto” se utilizó por ser una variable con implicaciones económicas, asumiendo que la actividad pesquera se ejerce en los sitios más cercanos a los puertos de atraque, a fin de disminuir los costos de operación y traslado (Corsi, 2000b). La información para el análisis se derivó de los datos generados del programa de Sistema de Localización y Seguimiento Satelital de la CONAPESCA. Para este caso en particular se crearon bandas o “buffers” con intervalos de diez kilómetros, mismos que intersectaron la capa correspondiente a número de registros de barcos, obteniéndose así un estimador del esfuerzo. Esta información sirvió de base para ajustar los datos a alguna distribución de probabilidades a fin de generar el modelo

teórico de distribución del esfuerzo. El procedimiento consideró los dos puertos presentes en el área de estudio; Topolobampo y Mazatlán.

Finalmente la variable “distancia a la boca más cercana” se consideró por su relación con el ciclo de vida del recurso camarón, particularmente para las especies de camarón azul y blanco. Esta afinidad del recurso a sistemas estuarinos, con la consiguiente probabilidad de mayor abundancia en sus cercanías ejerce un atractivo para el ejercicio de la actividad pesquera, por lo que se supone una mayor frecuencia en la distribución de la flota en estas áreas. Aunado a ello, y en función de la relación entre las bocas y el ciclo biológico de algunas especies de camarón, la NOM-002-PESC-1993 prohíbe ejercer el esfuerzo de pesca a una distancia menor a cinco millas (9.25 km) alrededor de las bocas de bahías y de lagunas, esteros y deltas de ríos y arroyos.

Como en el caso anterior, se generaron bandas con intervalos de cinco kilómetros y se llevó a cabo la intersección que permitió estimar el número de puntos o presencia de barcos para cada intervalo. Con esta información se ajustaron los datos a una distribución de probabilidades. Este procedimiento se realizó en 10 de las 20 bocas encontradas a lo largo del área de estudio, eligiendo una de cada dos bocas de manera sistemática. El ajuste de los parámetros de los modelos utilizados para las tres variables anteriores con respecto a la distribución del esfuerzo de pesca se realizó usando el método de máxima verosimilitud en la modalidad del negativo del logaritmo natural de la verosimilitud $(-\ln(L))$ (Hilborn y Walters, 1992). Este procedimiento permite, encontrar los parámetros del modelo dados los datos. Se parte del supuesto que las diferencias entre los datos observados y estimados se distribuyen de forma normal $N(0, \sigma^2)$; de esta manera la máxima verosimilitud para cada valor observado se calcula de la siguiente forma:

$$L\{Parámetros|Datos\} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{(Obs-Y)^2}{2\sigma^2}\right]}$$

Ec. 8

Donde *Obs* son los valores observados, *Y* son los valores esperados y σ es la desviación estándar de los errores. Por lo anterior, la máxima verosimilitud para observaciones

múltiples es igual al producto de la verosimilitud de cada observación individual. Para el caso del negativo del logaritmo natural de la verosimilitud se calculó con la siguiente expresión:

$$-\ln(L)\{Parámetros|Datos\} = \ln(\sigma) - \frac{\ln(2\pi)}{2} + \left(\frac{(Obs - Y)^2}{2\sigma^2} \right)$$

Ec. 9

La función objetivo se estimó a partir de la suma de todos los casos de $-\ln(L)$ en cada observación y los parámetros de los modelos fueron obtenidos cuando la función objetivo fue minimizada (Hilborn y Mangel, 1997) con ayuda de la herramienta solver del programa Excel. Una vez ajustada cada variable a un modelo de probabilidades, se trasladó esta información a mapas en formato de celdas (*grid*) para ser incorporado al SIG.

Con respecto al esfuerzo total, Esparza-Carvajal (2003) calculó que en promedio cada barco camaronero arrastra por temporada una superficie de 2,971 ha. Considerando que Sinaloa cuenta con 775 embarcaciones, de las que el 75% se encuentra en el puerto de Mazatlán (581) y el 25% restante en el puerto de Topolobampo (194) y asumiendo que cada embarcación tiene actividad, en total la flota arrastraría por temporada una superficie aproximada de 2.3×10^6 ha.

Por otra parte, tomando como referencia la estimación de Pérez (2003) para la superficie promedio arrastrada por hora (0.106 km^2) y conjuntamente con el dato derivado del análisis de Esparza-Carvajal (2003), se estima que en total se ejerce un esfuerzo equivalente a 217,220 horas de arrastre. De éste, el 75% del esfuerzo (162,915 h) es aplicado por la flota de Mazatlán y el 25% restante (54,305 h) por la flota del puerto de Topolobampo. Con esta información se generó la capa vectorial de puntos de “esfuerzo de pesca” para cada puerto dentro del área de estudio (horas de arrastre).

Una vez que se conjuntaron los cinco temas requeridos para simular la distribución del esfuerzo de pesca (“Zona de pesca”, “Profundidad”, “Distancia a puerto”, “Distancia a la boca más cercana” y “Esfuerzo de pesca”), fueron integrados al SIG para su análisis espacial por medio del programa de cómputo ArcView, plataforma

bajo la cual se obtuvo la distribución espacial del esfuerzo de pesca, aplicando el modelo propuesto por Corsi (2000b):

$$E_p = P_{s_1} \left(\frac{W_{v_{s_1}} * v_{s_1} + W_{v_{s_2}} * v_{s_2}}{W_{v_{s_1}} * \sum_{i=1}^N v_{s_1} + W_{v_{s_2}} * \sum_{i=1}^N v_{s_2}} \right) + P_{s_2} \left(\frac{W_{v_{s_1}} * v_{s_1} + W_{v_{s_2}} * v_{s_2}}{W_{v_{s_1}} * \sum_{i=1}^N v_{s_1} + W_{v_{s_2}} * \sum_{i=1}^N v_{s_2}} \right) \quad \text{Ec. 10}$$

Donde E_p es el esfuerzo de pesca por pixel (h/km^2), P_x es el esfuerzo de pesca del puerto x (h), W_{v_x} es el factor de ponderación para cada una de las variables, y depende del grado de contribución que tenga la variable en la distribución del esfuerzo de pesca, y por último, v_x es la variable al valor x .

Para una adecuada representación de la fórmula la suma de W_{v_x} debe ser igual a uno. Por lo que en el presente trabajo se ponderaron las variables de “distancia a puerto” y “distancia a la boca mas cercana” con una proporción de 0.3 cada una, y la variable de “Profundidad” con 0.4, asignando a esta última un valor mayor por ser la variable que diferenció la distribución del esfuerzo de pesca según la especie objetivo. Además, dadas las características y limitaciones de la información, para el presente trabajo se asumió que la distribución del esfuerzo de pesca fue la misma para los tres años de estudio, por no contar con mayores elementos para diferenciarla temporalmente.

Sistema: Categorización de la Pesquería

La pesquería se categorizó según su nivel de riesgo. Esto se obtuvo con base en la distribución geográfica del esfuerzo de pesca (h) y de la abundancia relativa del recurso, utilizando la *CPUE* (kg/h) como su indicador. Definiendo como zonas con alto riesgo de explotación las áreas donde, independientemente de la abundancia del recurso, se ejerce un esfuerzo de pesca excesivo. Y zonas de bajo riesgo de explotación donde el nivel de esfuerzo de pesca es proporcionalmente adecuado de acuerdo con los niveles de abundancia del recurso.

Para tal efecto se utilizaron los temas “Biomasa” y “Esfuerzo de pesca”, derivados de los subsistemas II y III. Estos temas fueron combinados por medio de la intersección de capas, resultando en nuevos temas o capas que incorporan la dimensión espacial al asignarse valores de captura o de esfuerzo a cada pixel con área de 1 km². De esta manera quedaron representados los temas de captura estimada (kg/km²), esfuerzo de pesca (h/km²) y dos valores de la *CPUE* (kg/h) correspondientes a las temporadas de pesca y de veda, a partir de los muestreos realizados por el CRIP-INP (kg/h).

Contando con la información anterior, se utilizaron las capas generadas en el ajuste a un modelo de producción global o de producción excedente. Estos modelos, derivados esencialmente del propuesto por Schaefer (1955), tratan con el *stock* pesquero en su globalidad, teniendo como variables el esfuerzo total de pesca y el rendimiento total, sin considerar parámetros poblacionales. El objetivo de tales modelos, es determinar el nivel óptimo de esfuerzo, asociado al rendimiento máximo sostenible.

Como parte de los supuestos del modelo, se asume una relación intrínsecamente lineal e inversamente proporcional, entre la *CPUE* y el esfuerzo de pesca, lo que implica que a medida que aumenta esfuerzo de pesca sobre un *stock* finito, pero renovable y estable, la *CPUE* disminuye, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\frac{y_x}{f_x} = a + bf_x \quad \text{si} \quad f_x \leq \frac{-a}{b}$$

Ec. 11

Donde y_x/f_x representa la producción por unidad de esfuerzo (kg/h) y f_x es el esfuerzo (h), siendo a y b los parámetros del modelo que deberán estimarse por cualquier método de optimización, generalmente por el método de mínimos cuadrados.

Siguiendo los criterios anteriores, Corsi (2000a) propuso una adecuación al modelo de producción excedente de Schaefer, aplicado al ámbito geográfico y no al temporal como se utiliza usualmente. En el presente trabajo se utilizó con los valores de cada píxel del área de estudio. Mediante la siguiente ecuación se obtuvo la *CPUE* óptima en temporada de pesca de acuerdo las características espaciales del área de estudio:

$$CPUE_{\text{optima}} = -bf'$$

Ec. 12

Donde $CPUE_{\text{optima}}$ es la captura por unidad de esfuerzo óptima para los diferentes valores de esfuerzo de pesca que se pueden tener en el área de estudio (kg/h), f es el esfuerzo de pesca (h) y b es el valor de la pendiente en el modelo de Schaefer.

Considerando las diferentes zonas de pesca, con la función anterior es posible categorizar el área de estudio de acuerdo a los valores de $CPUE$ estimados a partir de los datos proporcionados por el CRIP-INP ($CPUE_{\text{INP}}$). El criterio de categorización colocaría a todas aquellas áreas con valores de $CPUE_{\text{INP}} < CPUE_{\text{optima}}$ como zonas de alto riesgo de explotación, y valores de $CPUE_{\text{INP}} > CPUE_{\text{optima}}$ como zonas de bajo riesgo de explotación.

Con la ecuación anterior, cada píxel se categoriza de acuerdo a la abundancia estimada del recurso y esfuerzo de pesca aplicado. La relación entre ambas variables desplegadas en un contexto espacial permite asociar niveles de explotación del recurso, realizándose este procedimiento para las tres especies de camarón del 2004 al 2006. Bajo este contexto y dado lo limitado de la serie temporal, con solo tres años disponibles, se decidió asignar un criterio de riesgo de sobreexplotación (alto o bajo), cuando al menos dos de los tres años de muestreo repitieron condiciones de explotación.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Subsistema I: Zona de Pesca

El mapa batimétrico realizado para definir el área de estudio fue concluido con cerca de 1,400 puntos de muestreo, distribuidos a lo largo de la costa de Sinaloa y norte de Nayarit. En función de los límites batimétricos, ≈ 85 m de profundidad, se obtuvo una superficie total aproximada de $14,100 \text{ km}^2$ representados por píxeles de 1 km^2 .

Por lo que toca al modelo batimétrico, es de esperarse que tenga mayor precisión en la zona próxima a Mazatlán, donde las referencias son más numerosas. Aún con este desequilibrio en cuanto al número de datos, se considera que el modelo es representativo de la realidad en una escala mediana, ya que la técnica de interpolación lineal por medio de triangulación utilizada en el presente trabajo procesa los puntos suponiendo que existe un gradiente lineal de los valores observados y la distancia entre estos. La misma técnica fue usada por Pérez (2003) y Montana (2005) para la costa de Sinaloa y es evidente que existen diferencias entre los modelos generados por estos autores y el presente, particularmente por los límites máximos de profundidad diferentes en cada trabajo, pero con mayor similitud en el trazo del modelo de Montana (2005). Las diferencias con el modelo propuesto por Pérez (2003) se atribuyen principalmente a la inclusión de la cota de 50 m como máxima profundidad y la utilización de un número menor de datos.

En términos generales los modelos coinciden en identificar una plataforma estrecha en el extremo norte de la zona de estudio, misma que se ensancha entre Navachiste y bahía Santa María, donde la pendiente se suaviza y presenta la mayor amplitud de fondos someros. En esta área, el límite de la zona de estudio tiene una amplitud de aproximadamente 40 km, estrechándose posteriormente hasta la altura de Ensenada del Pabellón. A partir de aquí se ensancha nuevamente para reducirse gradualmente hasta alcanzar una amplitud aproximada de 17 km frente a Uriás.

Posteriormente la plataforma se extiende hacia Nayarit donde el área de estudio alcanzó su máxima amplitud, con aproximadamente 60 km (Fig. 5). Es importante mencionar que, aunque en términos generales, la zona de estudio es relativamente estable en lo que a amplitud se refiere, existen variaciones importantes en su pendiente, teniendo los valores mínimos en el norte y centro del estado, lo cual tiene implicaciones potenciales en la distribución del recurso.

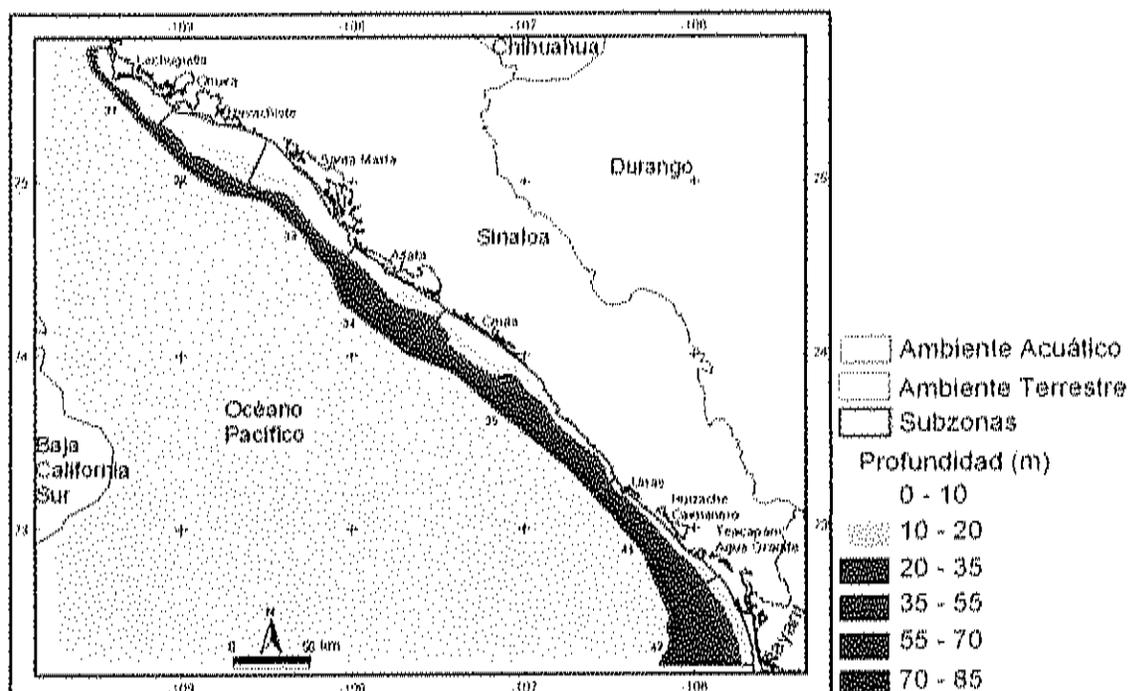


Figura 5. Modelo batimétrico con límite en la cota de los 85 m de profundidad, dividido por subzonas.

Con respecto al área total estimada en el presente estudio, el INP (2005) reporta una extensión de aproximadamente 11,415 km² para la misma zona, lo que implica un área menor en aproximadamente 2,700 km². Esta diferencia se explica a partir de que el INP delimitó el área de estudio hasta la cota de las 40 brazas de profundidad. Dado que los últimos informes de pesca reportan que la flota industrial opera hasta una profundidad de 45 brazas, se utilizó este dato para delimitar el área de estudio dentro del presente trabajo.

Asimismo, los límites de las subzonas difieren, especialmente en la subzona 35. En este estudio la subzona 35 se extiende hasta el norte Urias, alcanzando una superficie cercana a los 3.500 km², que representa un área aproximadamente 35% mayor que la propuesta por el INP (2,182 km²). Dado que esta zona se caracteriza por tener fondos rocosos, no aptos para el arrastre, se asume que ese fue el criterio seguido por el INP para excluirla de sus estimaciones (Fig. 6).

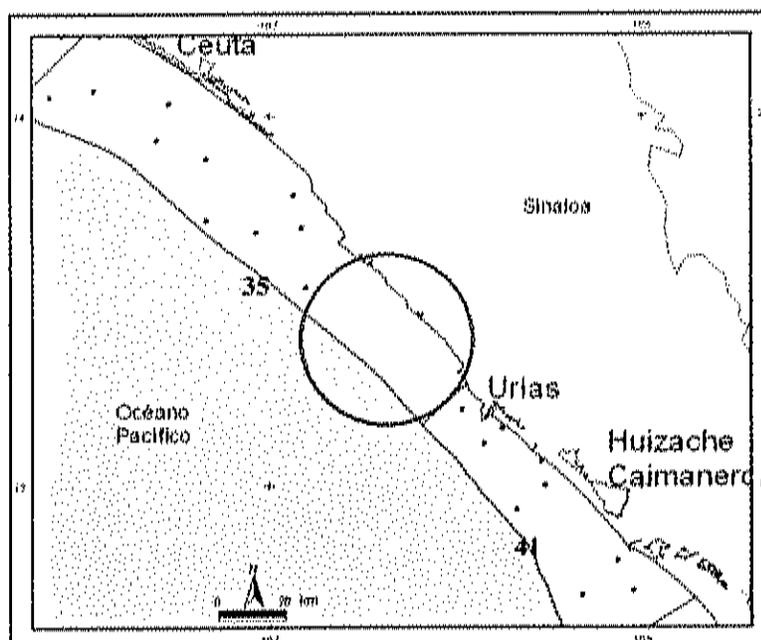


Figura 6. Parte de la subzona 35 que no es muestreada por el INP dentro del círculo rojo. Los puntos negros representan las estaciones de muestreo y los polígonos en verde las subzonas de muestreo.

Tabla 1. Superficie (km²) estimada de las subzonas de pesca

<i>Subzona</i>	<i>Superficie estimada</i>
31	879
32	1,952
33	1,878
34	1,982
35	3,593
41	1,782
42	2,013
Total	14,079

Con respecto a la superficie ocupada por cada una de las subzonas desde un plano horizontal, la mayoría de las subzonas oscilan alrededor de 2,000 km² de superficie, con excepción de las subzonas 31 y 35, que presentaron la menor y mayor extensión respectivamente (Tabla 1). Sin embargo, como ya se hizo mención, la subzona 35 se caracteriza por tener fondos de tipo rocoso, lo cual limita la actividad de las embarcaciones arrastreras.

Subsistema II: Recurso

Análisis de datos

Dentro del programa “Camarón” del INP se realizaron 241 arrastres en la zona de estudio en la época de veda, durante los meses de agosto de 2004 al 2006, obteniéndose un total de 4,658 kg para las tres especies de camarón. El intervalo de capturas varió de 0.01 kg en 2004 hasta 372 kg en 2006, siendo en ambos casos el camarón café la única especie capturada. Del total de lances, solo en 13 ocasiones se obtuvieron capturas nulas de las especies de camarón incluidas en este trabajo, lo que implica un éxito de captura mayor al 90%. La captura mínima con las tres especies presentes, se obtuvo en 2004 con 0.02 kg de camarón café, asociados con 0.1 y 4.5 kg de camarón azul y blanco respectivamente, capturados en la estación 7, en la subzona 42.

El camarón café y 2006 fueron la especie y el año con mayores promedios de captura, con valores próximos a 30 kg por lance. En cuanto a la presencia de camarones en la captura, nuevamente el camarón café fue la especie más frecuente, llegando a alcanzar valores próximos al 80% en 2005 y en general, con presencia en al menos el 67% de los lances. En contraparte, el camarón azul fue la especie menos frecuente y, junto con el camarón blanco, no sobrepasaron el 50% de los muestreos en ninguno de los tres años (Tabla 2).

En la proporción de la captura, el camarón café fue la especie más representativa a lo largo del tiempo con el 67% del total, seguida por el camarón azul y blanco con 19%

y 14%, respectivamente (Tabla 3). La mayor proporción de camarón café en las capturas, que varió anualmente de 61 a 77%, atribuyéndose a la distribución que presentan las especies con relación a la profundidad, ya que la flota industrial de camarón opera en áreas con profundidades mayores a los 10 m y, según la NOM-002-PESC-1993, fuera de la zona de amortiguamiento de cinco millas alrededor de cualquier boca. Algunas especies del género *Litopenaeus*, a las que pertenecen las especies de camarón azul y blanco, habitan por lo regular en zonas someras cercanas a la costa, con preferencia por sistemas lagunares, por ser especies resistentes a las variaciones de salinidad. A diferencia de las anteriores, las especies del género *Farfantepenaeus*, al que pertenece el camarón café, se distribuyen en zonas más profundas, atribuyéndose esta conducta a una mayor sensibilidad a las variaciones de salinidad (Rodríguez de la Cruz, 1981).

Tabla 2. Número de lances (n), promedio (\bar{x}), desviación estándar (s) y probabilidad de presencia por especie y año, de los muestreos realizados en el mes de agosto por el CRIP-Mazatlán (kg).

Año	Especies	n	\bar{x} (kg/h)	s (kg/h)	p
2004	Café	81	9	13	0.54
	Azul		4	6	0.38
	Blanco		3	4	0.47
2005	Café	81	17	21	0.77
	Azul		6	9	0.27
	Blanco		5	6	0.48
2006	Café	79	30	57	0.71
	Azul		19	41	0.41
	Blanco		8	12	0.57
Total	Café	241	19	38	0.67
	Azul		10	27	0.35
	Blanco		6	9	0.51

Los resultados del presente trabajo son similares a lo reportado por el INP (2001) que señala que la pesquería de camarón en el litoral del Pacífico es soportada por el camarón

café, con alrededor del 65 y 70% de la captura total. Por su parte Paredes (2007) reporta que, durante las épocas de veda entre 1992 y 2004, el camarón café representó en promedio alrededor del 50% de la captura total. Es importante señalar que, para efectos del presente estudio, sólo se utilizaron los datos del mes de agosto de cada año, por considerarse el más próximo a la apertura de la temporada de pesca y por lo tanto el más representativo de la biomasa disponible. Otros resultados publicados sobre la distribución de las especies en la captura son los de Sierra-Rodríguez *et al.* (2000), Chávez-Herrera (2001) y Madrid-Vera *et al.* (2001) quienes reportan que *F. californiensis* representa poco menos del 50% mientras que *L. vannamei* y *L. stylirostris* varían ligeramente entre reportes. A pesar de la alta proporción que representa el camarón café dentro del total de la captura, cabe hacer notar, que su valor económico es menor comparado a las especies de camarón blanco y azul. Sin embargo, su abundancia ha permitido que su pesquería permanezca debido al beneficio social de mantener la ocupación de mano de obra durante un mayor tiempo.

Tabla 3. Proporción (%) y captura total (kg) por especie y año, de los muestreos realizados por el CRIP-Mazatlán en el mes de agosto de 2004 al 2006.

<i>Especies</i>	2004	2005	2006	Total
<i>F. californiensis</i>	61	76	64	67
<i>L. stylirostris</i>	21	9	23	19
<i>L. vannamei</i>	18	15	13	14
Captura total (kg)	652	1,352	2,655	4,659

Los resultados del presente trabajo son similares a lo reportado por el INP (2001) que señala que la pesquería de camarón en el litoral del Pacífico es soportada por el camarón café, con alrededor del 65 y 70% de la captura total. Por su parte Paredes (2007) reporta que, durante las épocas de veda entre 1992 y 2004, el camarón café representó en promedio alrededor del 50% de la captura total. Es importante señalar que, para efectos del presente estudio, sólo se utilizaron los datos del mes de agosto de cada año, por

considerarse el más próximo a la apertura de la temporada de pesca y por lo tanto el más representativo de la biomasa disponible. Otros resultados publicados sobre la distribución de las especies en la captura son los de Sierra-Rodríguez *et al.* (2000), Chávez-Herrera (2001) y Madrid-Vera *et al.* (2001) quienes reportan que *F. californiensis* representa poco menos del 50% mientras que *L. vannamei* y *L. stylirostris* varían ligeramente entre reportes. A pesar de la alta proporción que representa el camarón café dentro del total de la captura, cabe hacer notar, que su valor económico es menor comparado a las especies de camarón blanco y azul. Sin embargo, su abundancia ha permitido que su pesquería permanezca debido al beneficio social de mantener la ocupación de mano de obra durante un mayor tiempo.

Distribución de la abundancia

Con respecto a la distribución espacial de la abundancia, la aplicación de técnicas de interpolación permitió generar mapas de los valores de biomasa para cada año, representada por los estimadores de captura por unidad de esfuerzo (kg/h). Se presentan los resultados correspondientes con la aplicación de los algoritmos de Kriging e IDW en los años 2004, 2005 y 2006.

En la figura 7 se muestran las biomásas vulnerables (kg/km^2) estimadas con el método de IDW para cada una de las especies objeto del presente estudio durante agosto de 2006. En la figura 8 se muestran las biomásas vulnerables (kg/km^2) estimadas con el método de IDW para cada una de las especies objeto del presente estudio durante agosto de 2005. En la figura 9 se muestran las biomásas vulnerables (kg/km^2) estimadas con el método de IDW para cada una de las especies objeto del presente estudio durante agosto de 2004.

Con la misma información, en la figura 10 se muestran los resultados que se obtuvieron aplicando el algoritmo de Kriging con los valores de biomasa vulnerable (kg/km^2) para las tres especies durante agosto de 2006. En la figura 11 se muestran los resultados que se obtuvieron aplicando el algoritmo de Kriging con los valores de biomasa vulnerable (kg/km^2) para las tres especies durante agosto de 2005. En la figura

12 se muestran los resultados que se obtuvieron aplicando el algoritmo de Kriging con los valores de biomasa vulnerable (kg/km^2) para las tres especies durante agosto de 2004.

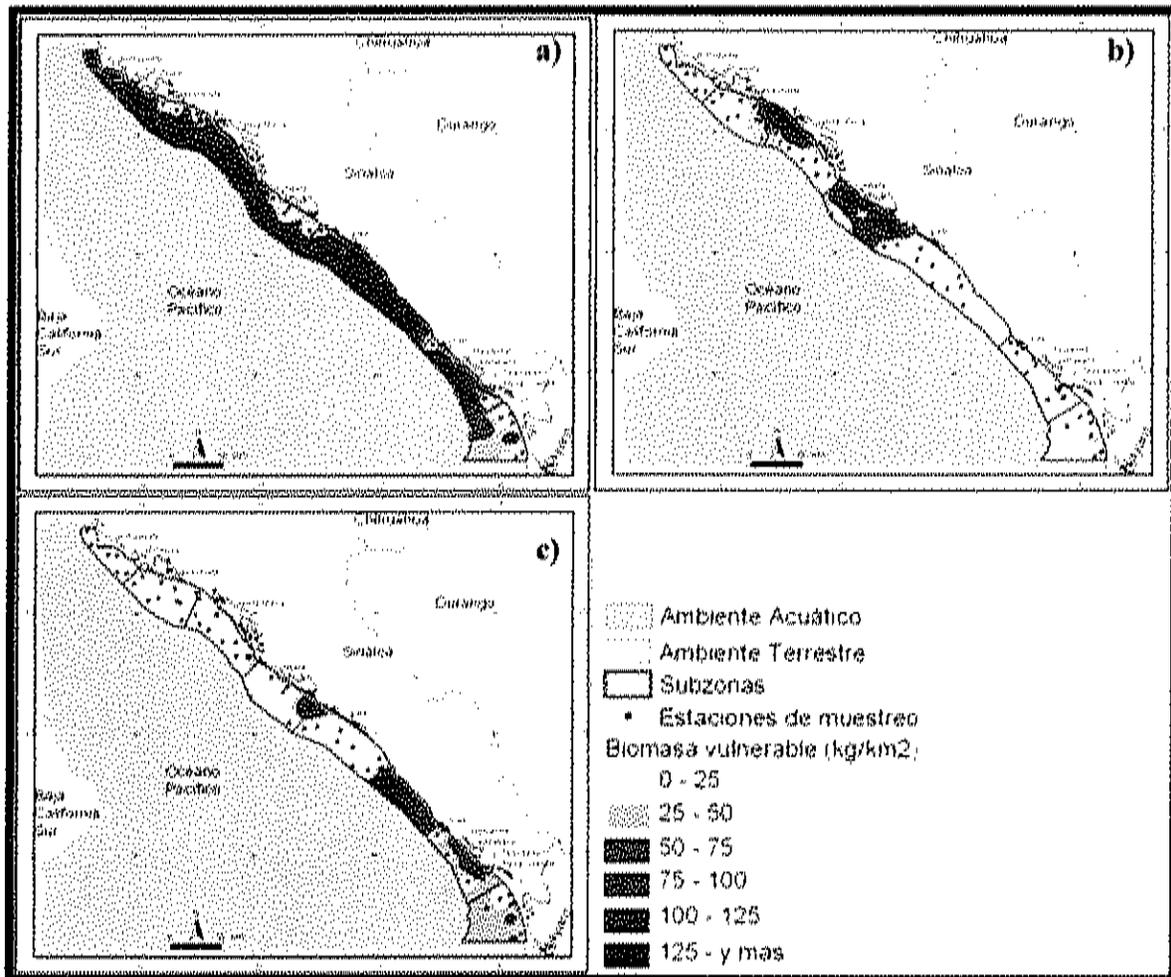


Figura 7. Distribución espacial y biomasa vulnerable estimada (kg/km^2) con el método IDW en la zona 30 y 40 en el mes de agosto de 2006 para camarón; a) café, b) azul y c) blanco.

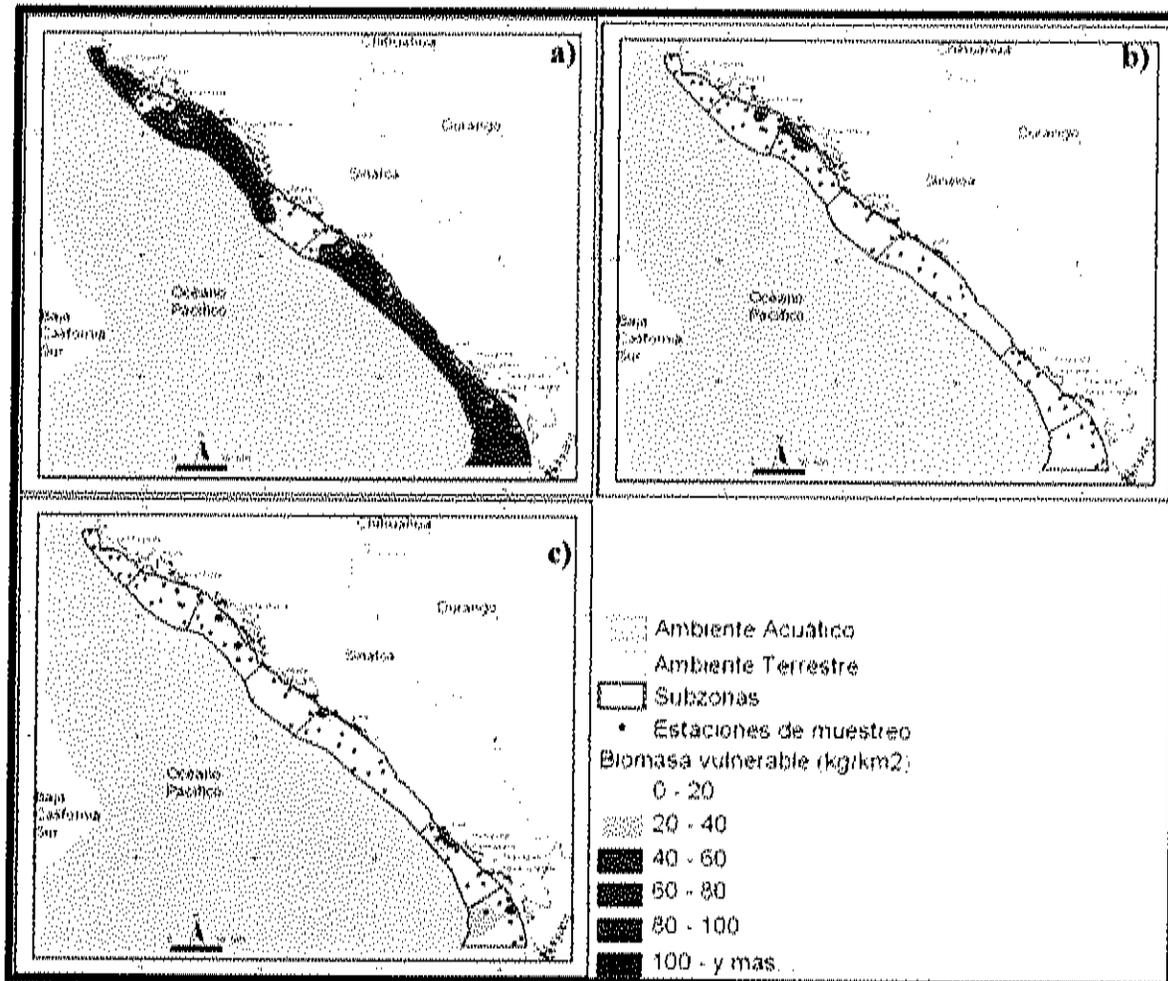


Figura 8. Distribución espacial y biomasa vulnerable estimada (kg/km²) con el método IDW en la zona 30 y 40 en el mes de agosto de 2005 para camarón; a) café, b) azul y c) blanco.

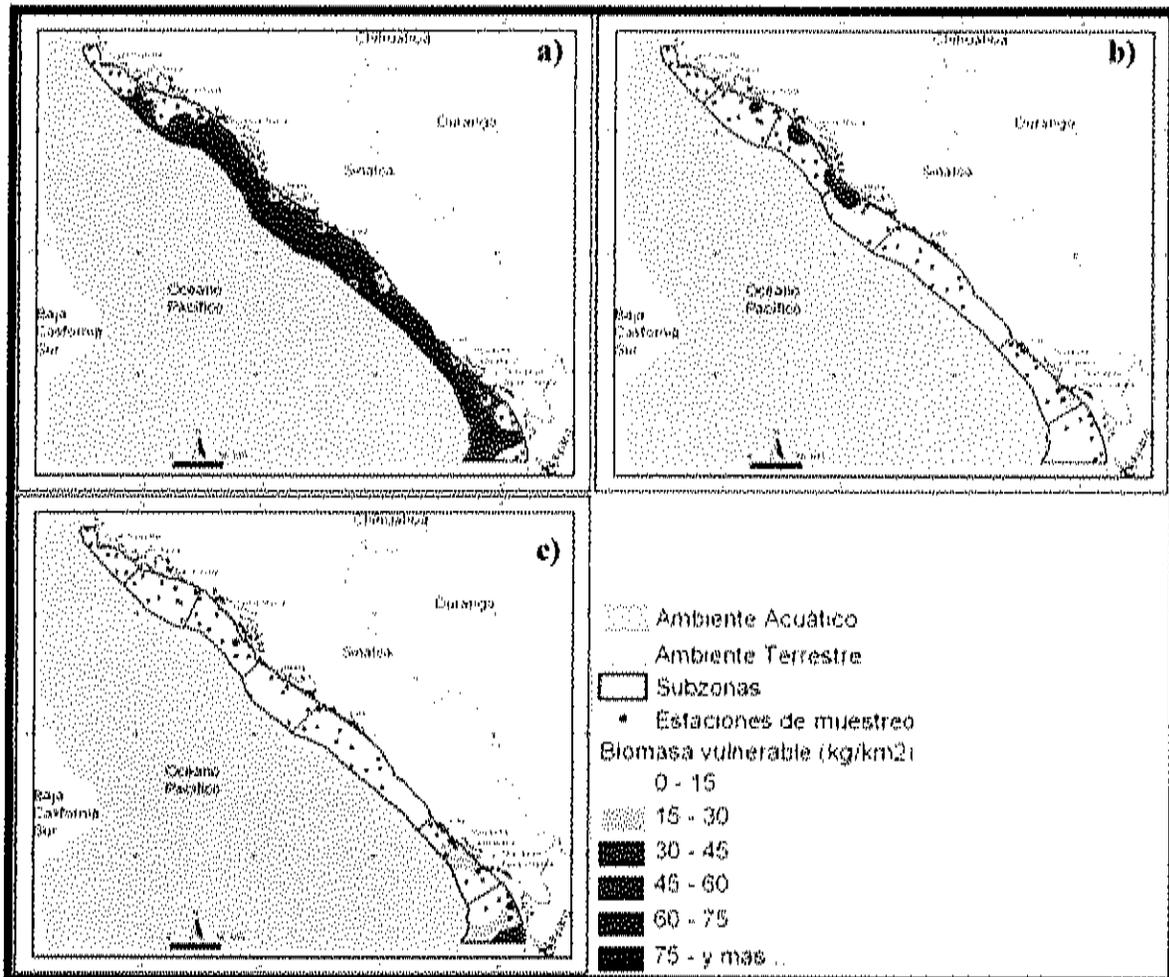


Figura 9. Distribución espacial y biomasa vulnerable estimada (kg/km²) con el método IDW en la zona 30 y 40 en el mes de agosto de 2004 para camarón; a) café, b) azul y c) blanco.

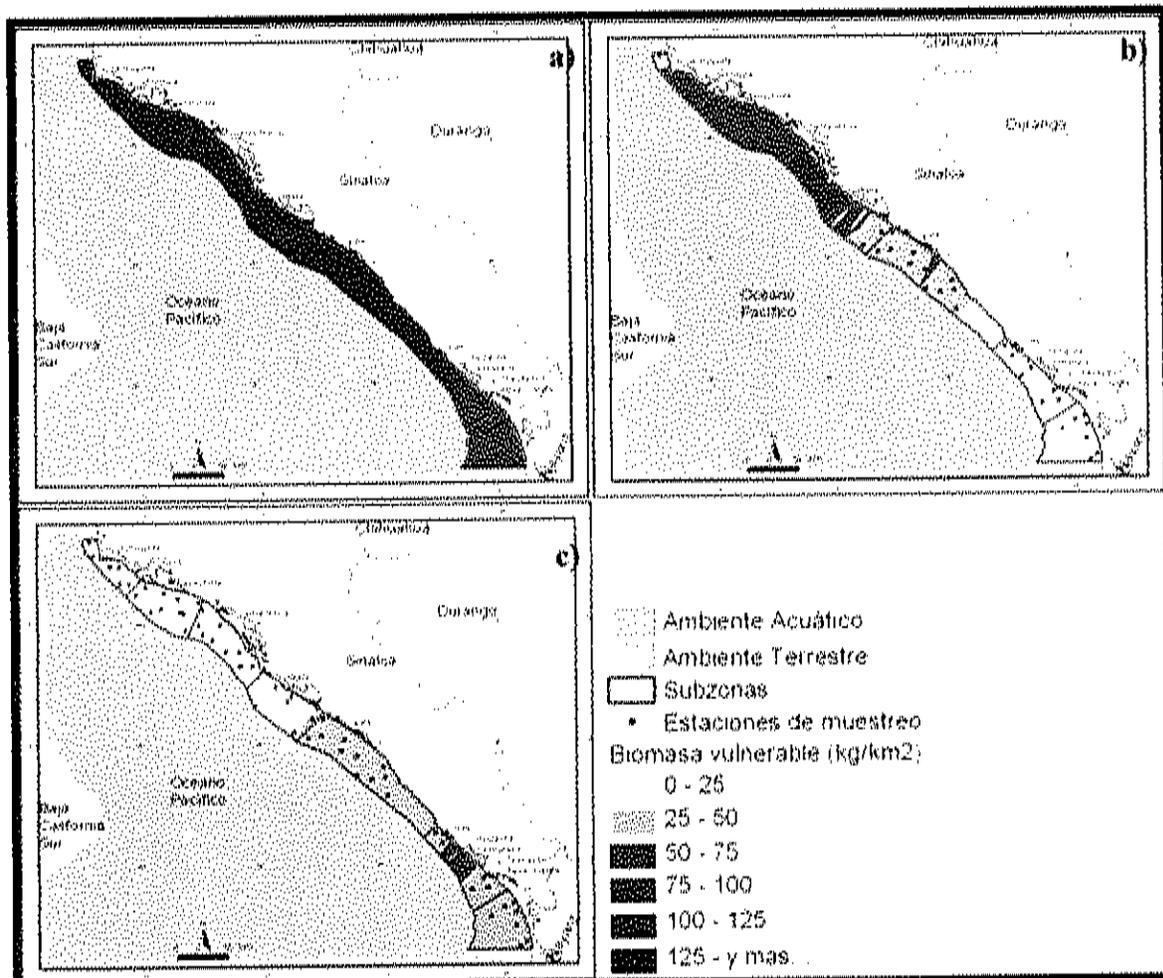


Figura 10. Distribución espacial y biomasa vulnerable estimada (kg/km²) con el método Kriging en la zona 30 y 40 en el mes de agosto de 2006 para camarón; a) café, b) azul y c) blanco..

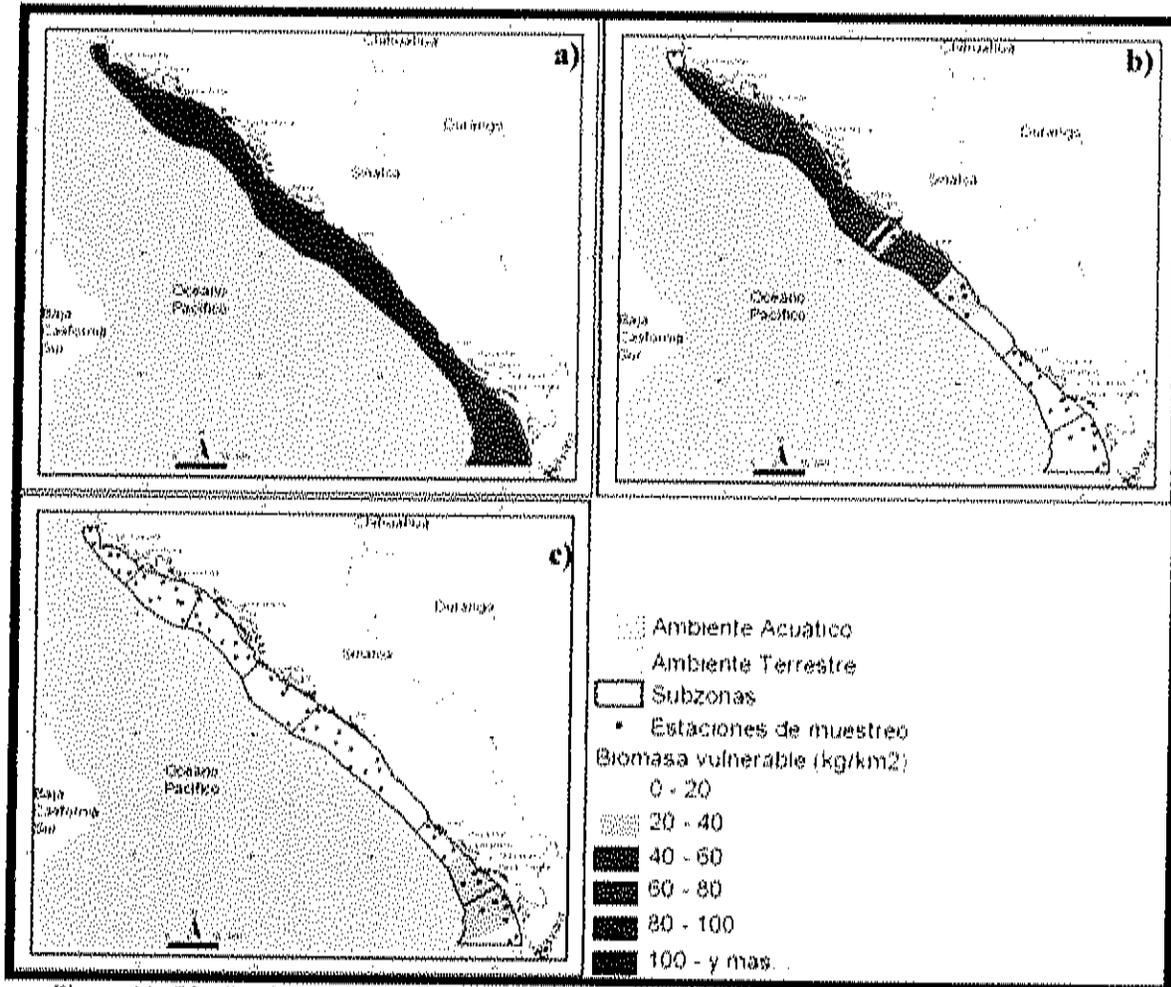


Figura 11. Distribución espacial y biomasa vulnerable estimada (kg/km²) con el método Kriging en la zona 30 y 40 en el mes de agosto de 2005 para camarón; a) café, b) azul y c) blanco.

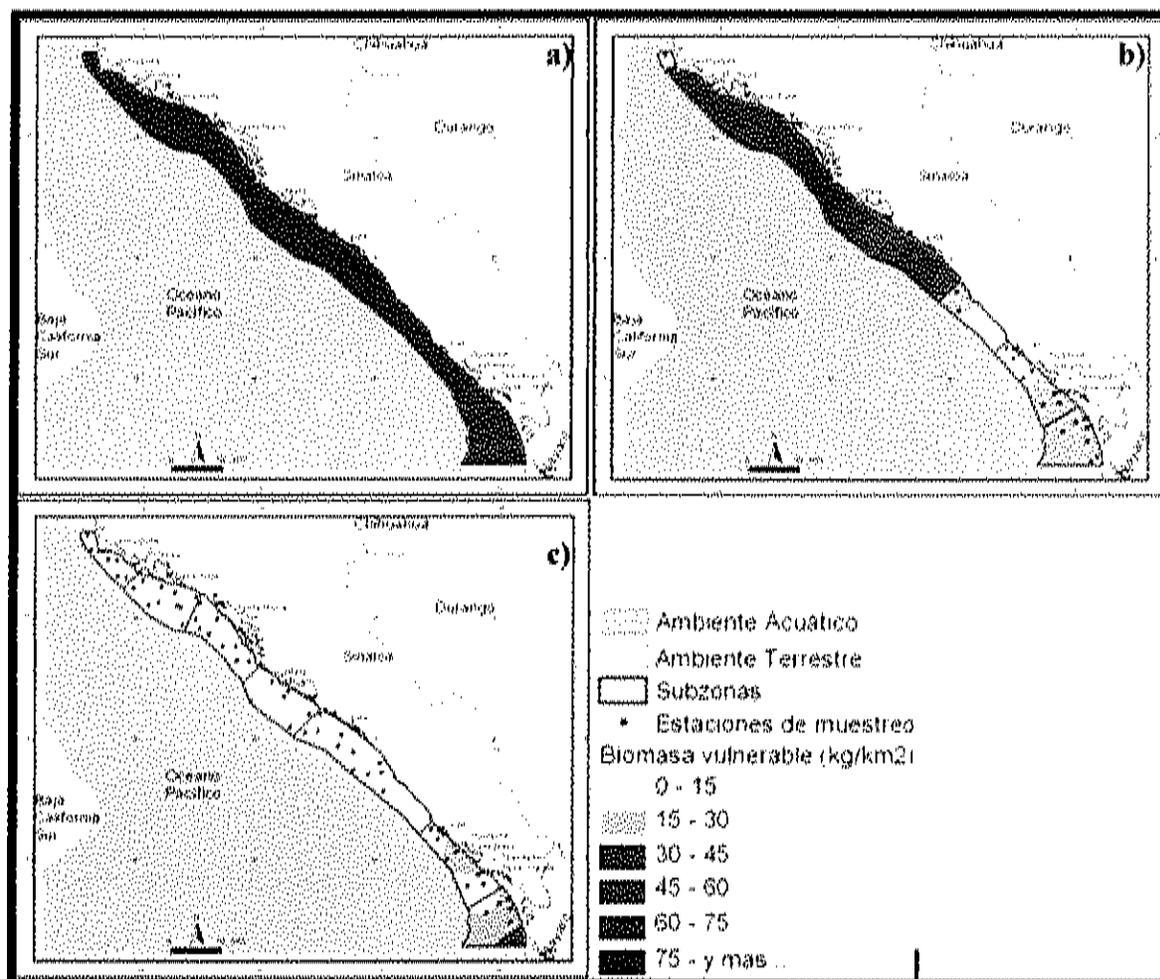


Figura 12. Distribución espacial y biomasa vulnerable estimada (kg/km²) con el método Kriging en la zona 30 y 40 en el mes de agosto de 2004 para camarón; a) café, b) azul y c) blanco.

La ventaja del método de Kriging es que genera un mapa con la distribución de las varianzas. Para el presente estudio se observó que la varianza de las estimaciones dependía en mayor proporción de la lejanía o cercanía de las estaciones de muestreo, más que de los valores observados durante los muestreos. Esto es particularmente evidente en la subzona 35, que como ya se mencionó en apartado anterior, carece de estaciones de muestreo dentro de una buena parte de esta región, debido principalmente al tipo de suelo oceánico que presenta. Asimismo se observó un aumento de la varianza en zonas con profundidades próximas al límite, como es el caso de la subzona 42. Cabe mencionarse que la figura 13 hace referencia a la abundancia relativa de camarón café en

el año del 2006, sin embargo para todas las estimaciones realizadas se observaron valores de varianza con las características señaladas.

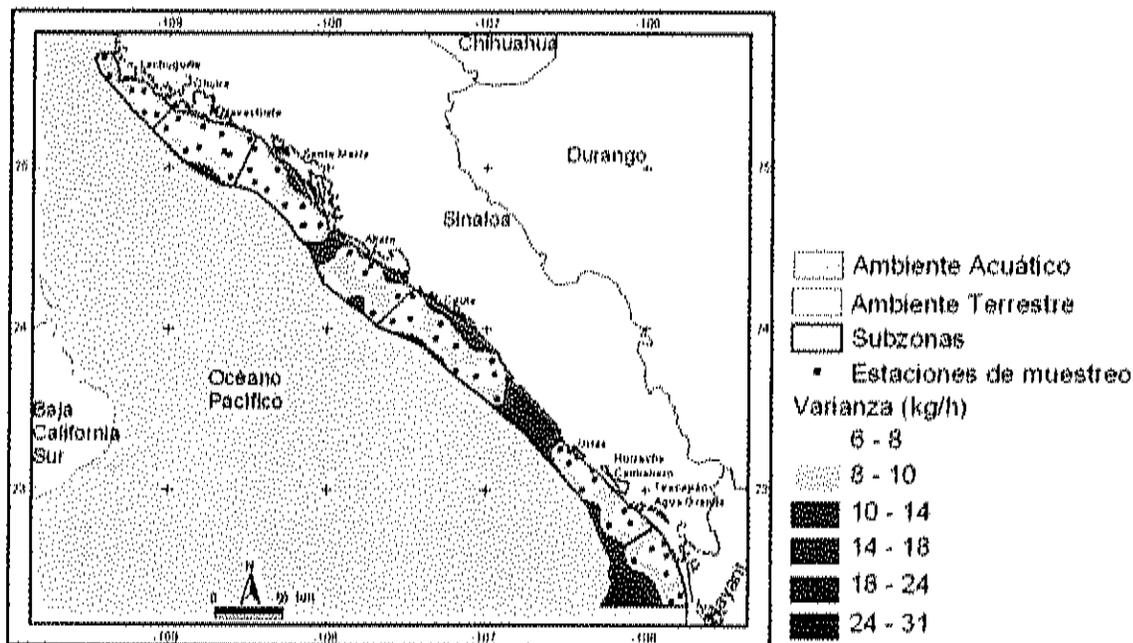


Figura 13. Mapa de varianza estimada con Kriging, para el camarón café (kg/h) en el año de 2006.

Una vez que los resultados de biomasa fueron estimados para los tres años en términos espaciales, es decir biomasa disponible por área, se realizó un análisis temporal por especie, observándose que independientemente de los métodos, se obtuvieron resultados similares en cuanto a los promedio de la biomasa vulnerable estimada. El camarón café se mostró como la especie más abundante en los tres años, con promedios que van de aproximadamente 75 kg/km^2 en el año 2004 hasta un valor cercano a 220 kg/km^2 en el año 2006 para los dos métodos, únicamente observándose variaciones en cuanto a los valores de dispersión respecto del valor central, normalmente mayores con IDW (Fig. 14).

Para el camarón azul se estimaron valores promedio de 5 kg/km^2 en el año 2005 hasta 40 kg/km^2 en el año 2006. Por último, el camarón blanco fue la especie de menor abundancia, con valores de la biomasa relativa promedio que variaron de 7 kg/km^2 en el año 2004 hasta 25 kg/km^2 en el año 2006 (Fig. 10). Como se puede observar valores similares entre las estimaciones de biomasa obtenidas con los dos métodos de

interpolación, ya sea por especie o año, aunque en todos los casos el método de Kriging fue el que mostró una menor variabilidad de los datos estimados.

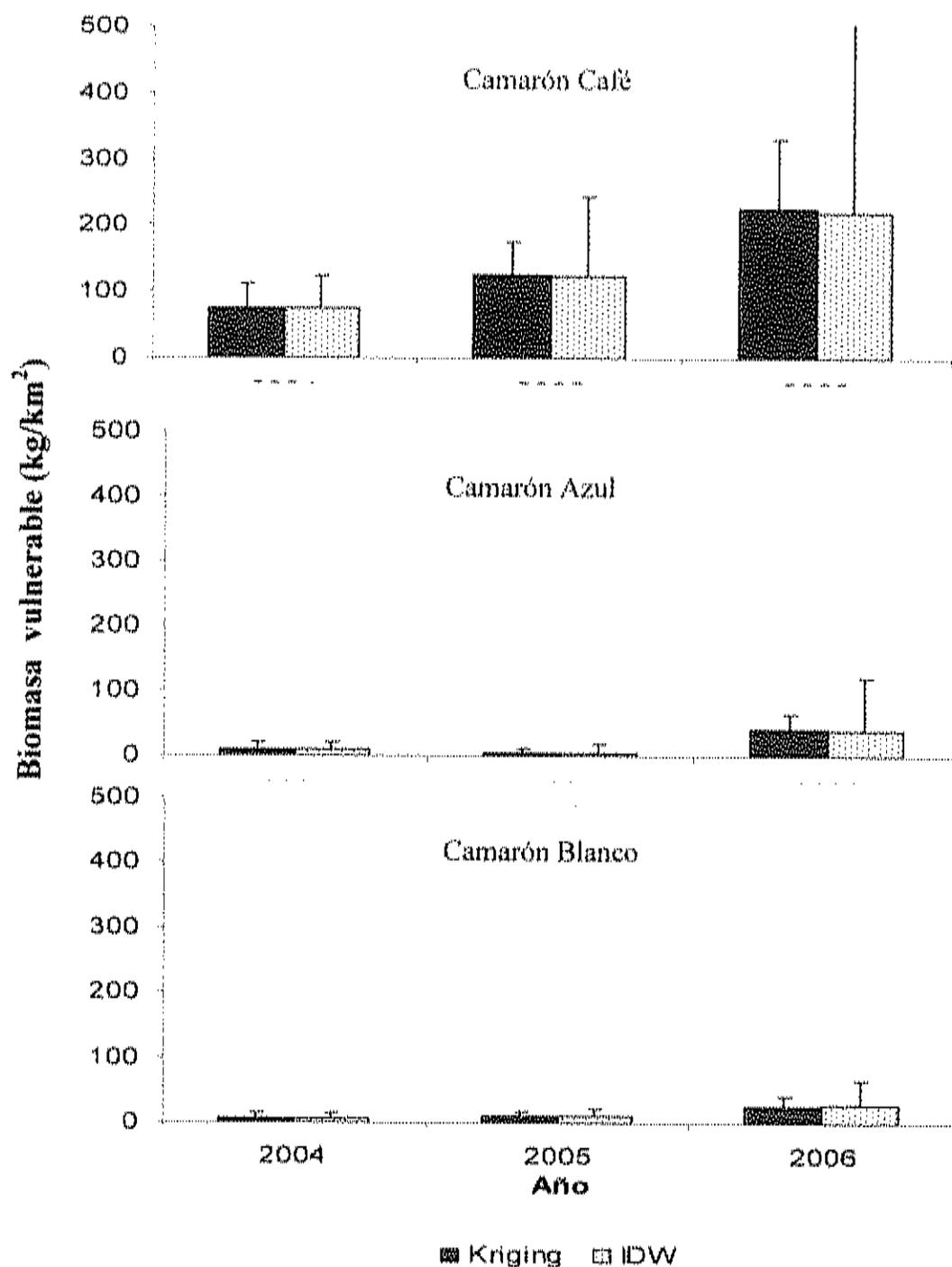


Figura 14. Media y desviación estándar de la biomasa vulnerable (kg/km²) por especie, año y método de interpolación.

Al aumentar la resolución del análisis, pasando del área total de estudio a nivel de subzona, se observaron tendencias similares en cuanto a la distribución de la abundancia del recurso con la aplicación de ambos métodos de interpolación. Sin embargo se observan diferencias en cuando al promedio de la biomasa relativa estimada por subzona.

En el caso del camarón café, se observa que la mayor abundancia se presenta al norte de la zona de estudio, pero particularmente en la subzona 33 con influencia del sistema lagunar Santa Maria-La Reforma, donde se observó la mayor abundancia relativa del recurso (Fig. 15). Las diferencias entre las estimaciones con ambos métodos para esta subzona fueron las mayores, con divergencias mayores de 150 kg/km^2 entre Kriging (226 kg/km^2) e IDW (392 kg/km^2).

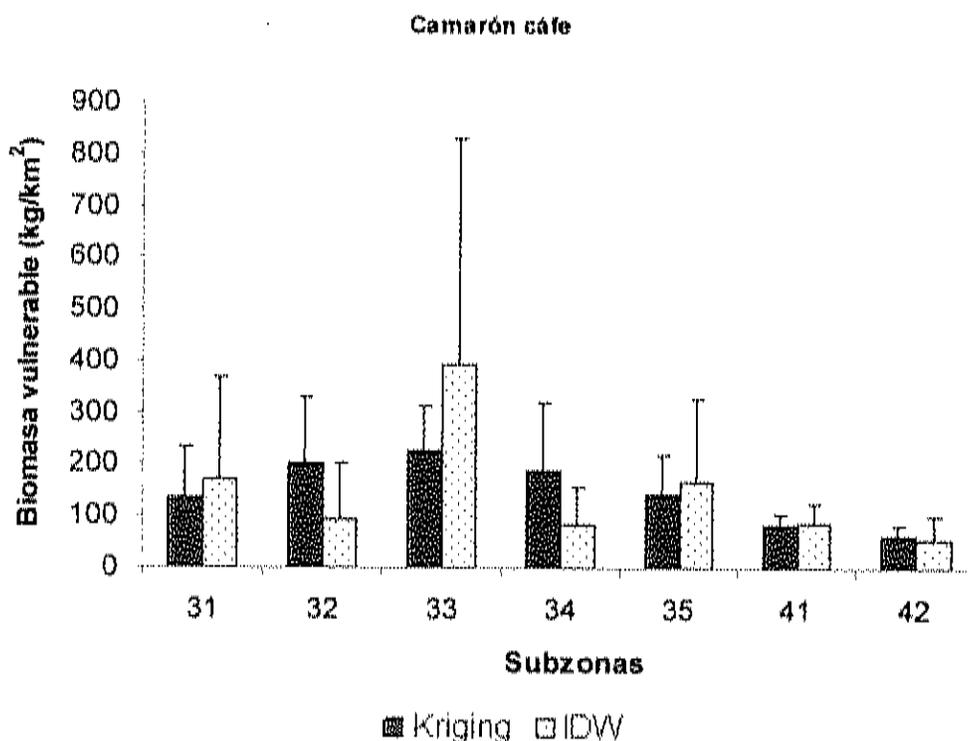


Figura 15. Media y desviación estándar de la biomasa vulnerable (kg/km^2) de camarón café por subzona, y método de interpolación con el valor promedio de los tres años de estudio (2004 – 2006).

Para el camarón azul se observaron mayores diferencias, tanto a nivel general como por subzona, siendo la 31 la que presentó la máxima disimilitud entre métodos y también la que obtuvo la mayor abundancia relativa (37 kg/km^2) con la aplicación del método de Kriging (Fig. 16). Con la aplicación de IDW la varianza dentro de las subzonas fue mayor en todos los casos (excepto en la subzona 31), pero en términos generales sigue las mismas tendencias que con Kriging. La subzona 34 presentó un valor promedio con 39 kg/km^2 , ligeramente mayor al estimado con Kriging para la subzona 31, aunque con ambos métodos hay coincidencia en cuanto a presentar la parte norte del sistema como la de más importancia en términos de la abundancia para esta especie, que en apariencia presenta una influencia latitudinal.

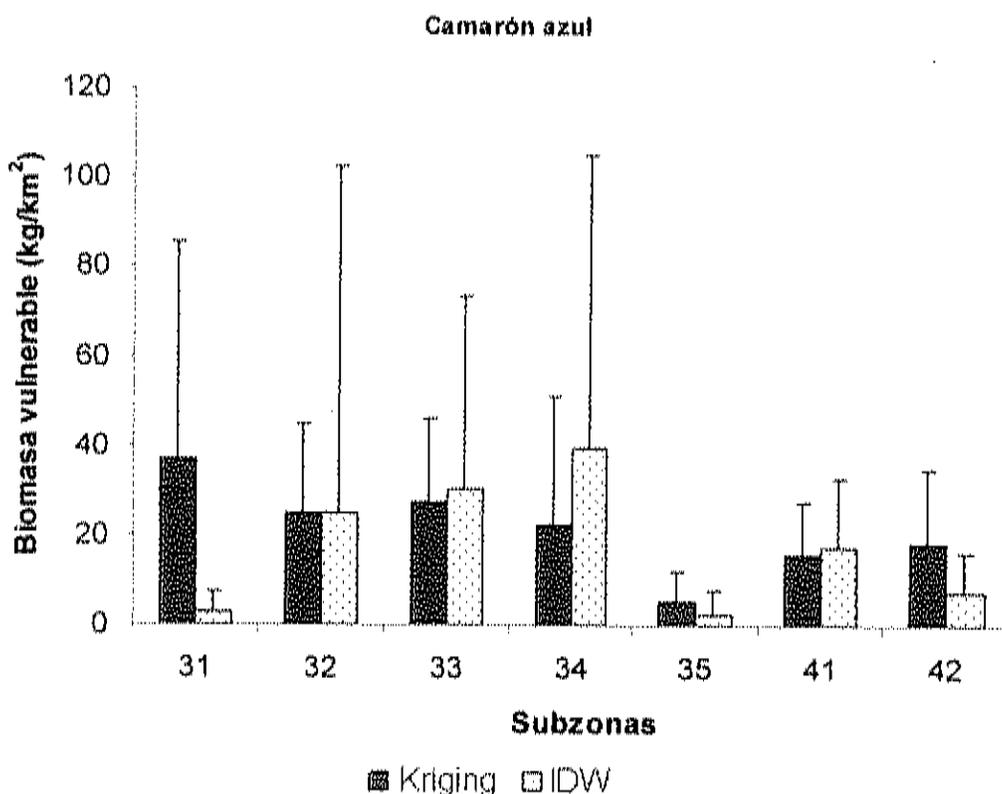


Figura 16. Media y desviación estándar de la biomasa vulnerable (kg/km^2) de camarón azul por subzona, y método de interpolación con el valor promedio de los tres años de estudio (2004 – 2006).

Por último, para el camarón blanco los resultados fueron similares con la aplicación de ambos métodos, presentando a la zona 40 (subzonas 41 y 42) como la de mayor abundancia relativa con 50 kg/km^2 (Fig. 17). Dentro de esta zona se localizan los sistemas lagunares de Urias, Huizache-Caimanero y Teacapán.

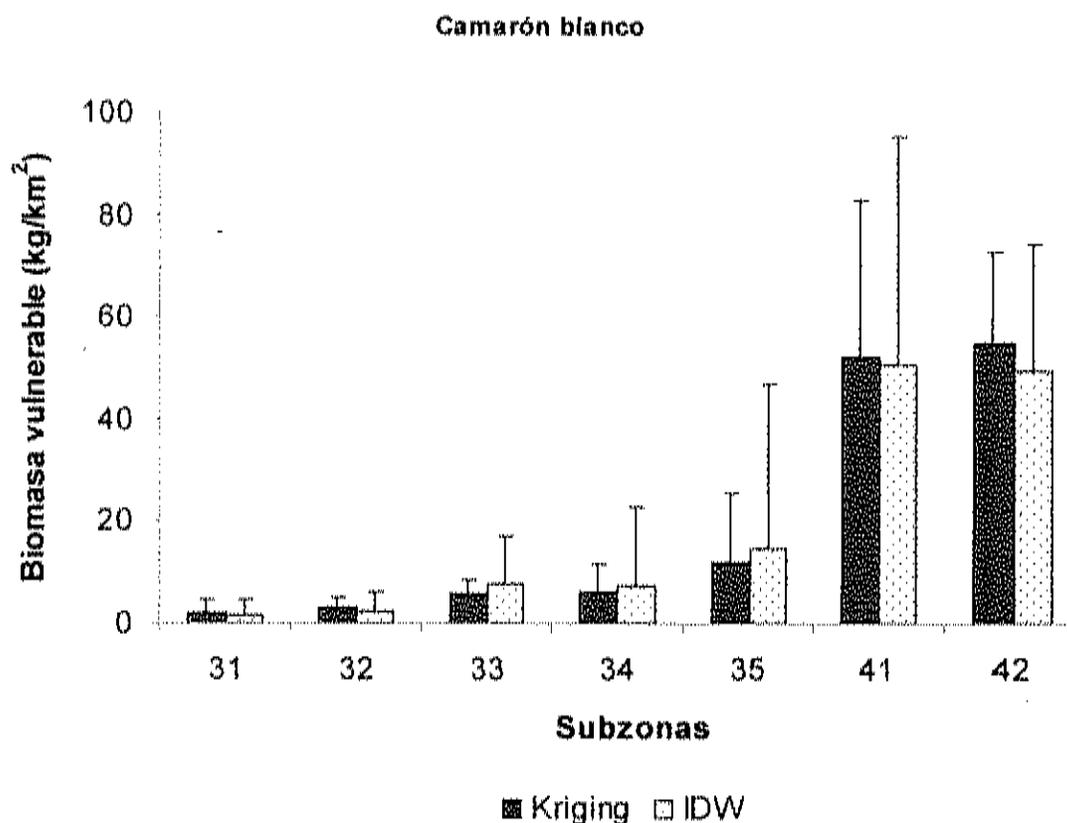


Figura 17. Media y desviación estándar de la biomasa vulnerable (kg/km^2) de camarón blanco por subzona, y método de interpolación con el valor promedio de los tres años de estudio (2004 – 2006).

Con respecto a esta aparente distribución latitudinal de las especies, Madrid-Vera *et al.* (2001b) mencionan que la abundancia de las especies de camarón cambia con la latitud, señalando un patrón de distribución similar al que resultó de la aplicación de los métodos de interpolación. Dichos autores señalan que el camarón azul incrementa su

abundancia de sur a norte, mientras que la del camarón blanco sigue un proceso inverso, incrementando su abundancia de norte a sur.

Con respecto al camarón café sugieren que las mayores abundancias se ubican en la desembocadura del golfo de California, al norte de Sinaloa, con una tendencia a disminuir su presencia en el sur de Sinaloa y norte de Nayarit. Considerando que las distribuciones espaciales de los camarones que reportan Madrid-Vera *et al.* (2001) siguen patrones similares a los observados en el presente trabajo, se considera que las técnicas de interpolación utilizadas ayudan a expresar adecuadamente las tendencias espaciales del recurso.

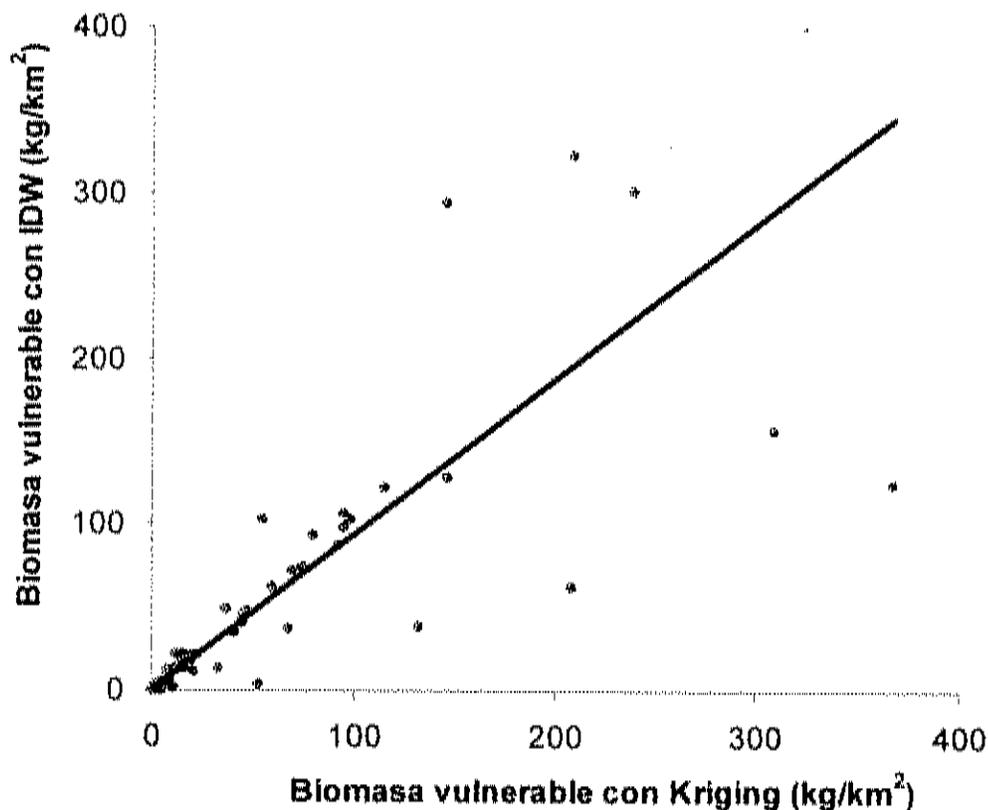


Figura 18. Coeficiente de determinación de la captura estimada con los métodos de interpolación de IDW y Kriging, por subzonas, especies y años, para una $n = 63$ ($r^2 = 0.69$; $p < 0.01$).

Dada las diferencias observadas en las estimaciones realizadas con los dos métodos de interpolación, se compararon los resultados para observar si había diferencias en la

Figura 19. Barcos camaroneros con velocidad ≤ 2 nudos en el área de estudio en los meses de septiembre a diciembre de 2006.

De los datos utilizados el 97.5% indicaron la presencia de barcos camaroneros dentro del área de estudio, lo que confirmó que es correcta la definición del área de estudio a partir de los puntos batimétricos recabados en el presente trabajo, que sin embargo deberá afinarse con la obtención de mayor información y la actualización del modelo.

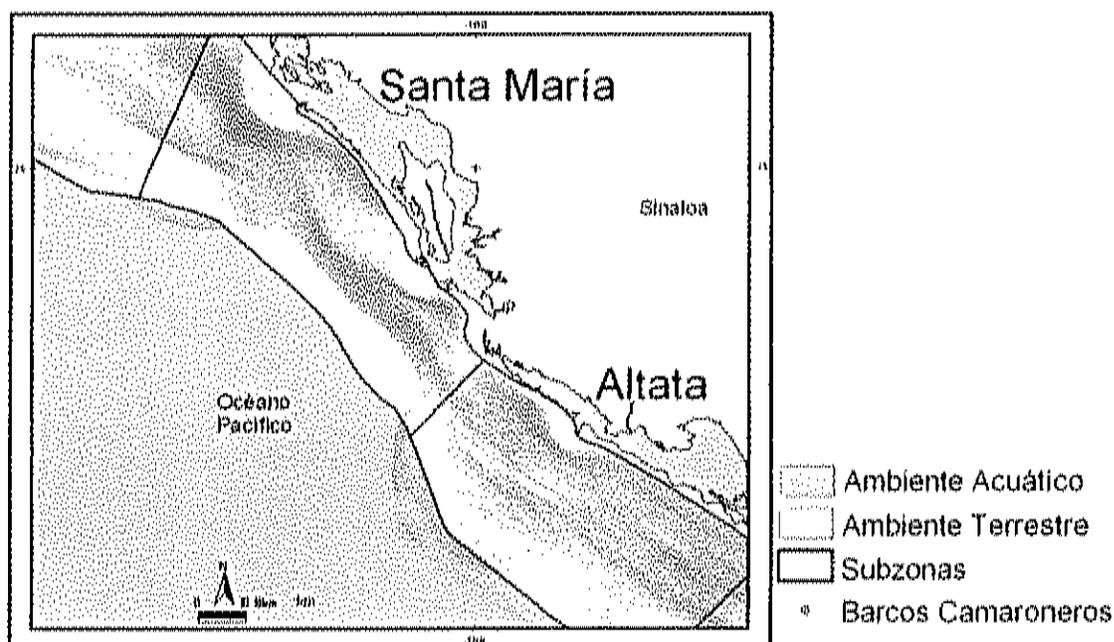


Figura 20. Zona de mayor conflicto en la definición del área de estudio, con respecto a los datos de esfuerzo aplicado por la flota camaronera industrial registrados por la CONAPESCA.

A pesar de la densidad de registros es posible observar las áreas que previamente han sido señaladas como representativas de bajo esfuerzo debido a la presencia de fondos rocosos o bien por su cercanía a bocas de bahías y ríos. De igual manera, es importante señalar que en las subzonas 33 y 34 posiblemente será necesario corregir la extensión de la zona de pesca, pues a pesar de ser áreas donde tradicionalmente se ejerce un esfuerzo elevado, este se manifiesta restringido a un área menor en el caso de la subzona 33, con influencia del sistema lagunar Santa María-La Reforma, mientras que en la subzona 34, con influencia del sistema lagunar Altata-Ensenada de Pabellones, no todos los registros se ubican dentro del área identificada en este estudio. Se considera que el error podrá

corregirse al incrementarse la base de datos relacionada con esta zona, ya que, de las áreas consideradas, estas dos subzonas cuentan con el menor número de registros batimétricos, lo que pudo provocar estimaciones erróneas de profundidad (Fig. 20).

Variable: Profundidad

Basado en los datos disponibles y en los resultados del modelo batimétrico, la distribución del esfuerzo mostró diferencias según la especie de camarón en estudio. Debe reiterarse que, debido a las características de la información proporcionada por la CONAPESCA, misma que no incluye identidad de la embarcación o datos sobre captura, se asume que no hay una intención por parte de la flota para obtener una especie en particular y, por lo tanto, existe un componente aleatorio en la captura.

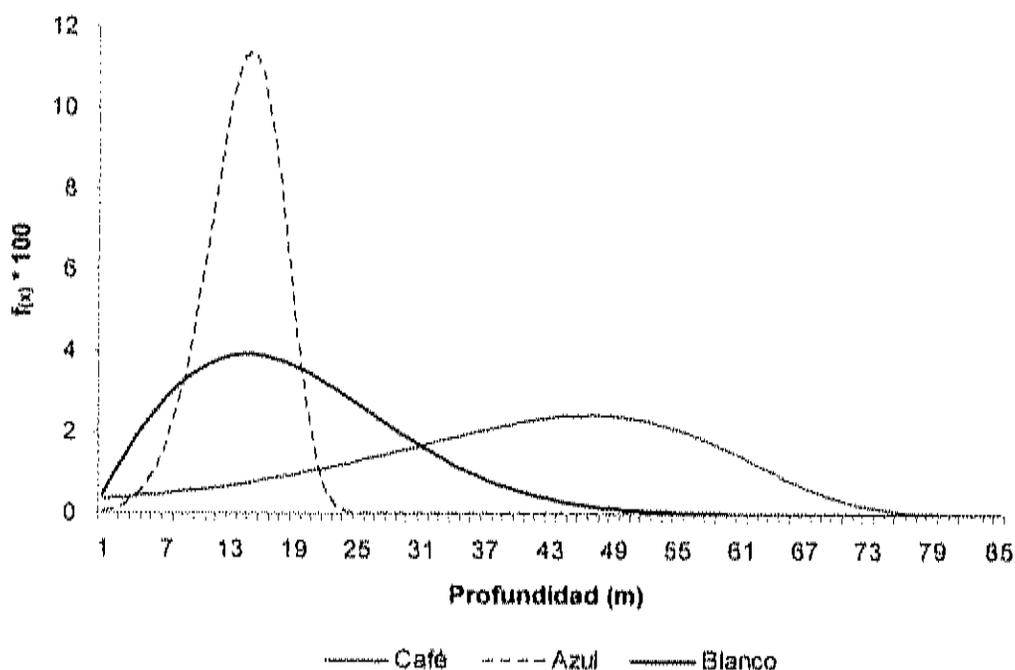


Figura 21. Distribución de probabilidades ($f(x)$) de la abundancia de camarón por especie con respecto a la profundidad (m).

Considerando lo anterior y los datos de captura por especie, se determinaron los niveles de profundidad óptima para las tres especies con base en la distribución de sus

abundancias. A partir de este análisis, se determinó que la especie *F. californiensis* (camarón café) se ubicó en una profundidad óptima de captura a los 47 m (Fig. 21). Con base en el arreglo de las probabilidades se asignó un intervalo batimétrico de distribución de la especie considerando la profundidad donde la abundancia del recurso disminuyera un 50% con respecto a la mayor abundancia obtenida en la profundidad óptima. De esta manera, para el camarón café se obtuvo el intervalo de distribución más amplio de los determinados para las tres especies, que va de los 24 a los 62 m de profundidad. De manera similar, la máxima profundidad se estimó como el valor de profundidad que se alcanza al conocer la probabilidad acumulada del 95%, que para el camarón café correspondió a 64 m.

Los valores obtenidos coinciden con el intervalo reportado por Hendrickx (1996) que indica intervalo de mayor abundancia entre 25 y 50 m de profundidad y Madrid *et al.* (2001a) que indican que las mayores capturas de esta especie se obtienen entre 11 y 40 brazas (20 a 73 m). El INP (2005) en su reporte anual del análisis de las poblaciones de camarón en la temporada de veda, menciona una distribución batimétrica para el camarón café de 5 a 35 brazas (9 a 64 m), que sí bien es similar a la que aquí se reporta, presenta diferencias que pueden deberse a la inclusión del área de distribución general de esta especie en el Pacífico mexicano.

La profundidad óptima del camarón azul (*L. stylirostris*) se ubicó en los 15 m, siendo así la especie más somera, con un estrecho intervalo de distribución batimétrica que va de los 10 a los 19 m, coincidiendo este valor con el máximo de profundidad para esta especie, aunque Hendrickx (1996) señala que su distribución en el mar alcanza hasta las 25 brazas (45 m) y que es la especie dominante en lagunas, estuarios y bahías desde el norte de Mazatlán hasta el río Colorado. El informe anual del INP (2005) sitúa a esta especie en profundidades de 5 a 10 brazas (9 a 18 m), prácticamente las mismas que se obtuvieron en este estudio.

Para el camarón blanco (*L. vannamei*) se estimó que la profundidad óptima se localizó a los 15 m, con un intervalo más amplio que el del camarón azul, pero sensiblemente menor que el camarón café, que va de los 4 a los 29 m, determinándose

como profundidad máxima 37 m. Al respecto, Pérez (2003) realizó un análisis batimétrico para el camarón blanco en las costas de Sinaloa y Nayarit con las capturas de los años 1994 a 2001. Sus resultados mencionan una profundidad óptima de 14.5 m, con un intervalo que va de los 3 a los 32 m. El INP (2001) señala que esta especie puede localizarse hasta las 50 brazas (90 m), pero que su mayor abundancia se encuentra entre las 5 y 15 brazas (9 a 27.5 m), encontrándose que para todos los reportes anteriores el intervalo de profundidad es muy parecido al que se determinó en el presente trabajo.

Todos los modelos anteriores se ajustaron a una distribución tipo Weibull con cuatro parámetros, mismos que fueron estimados con técnicas de máxima verosimilitud. Los perfiles de verosimilitud para el ajuste del modelo por especie se pueden observar en las figuras 22 a 24.

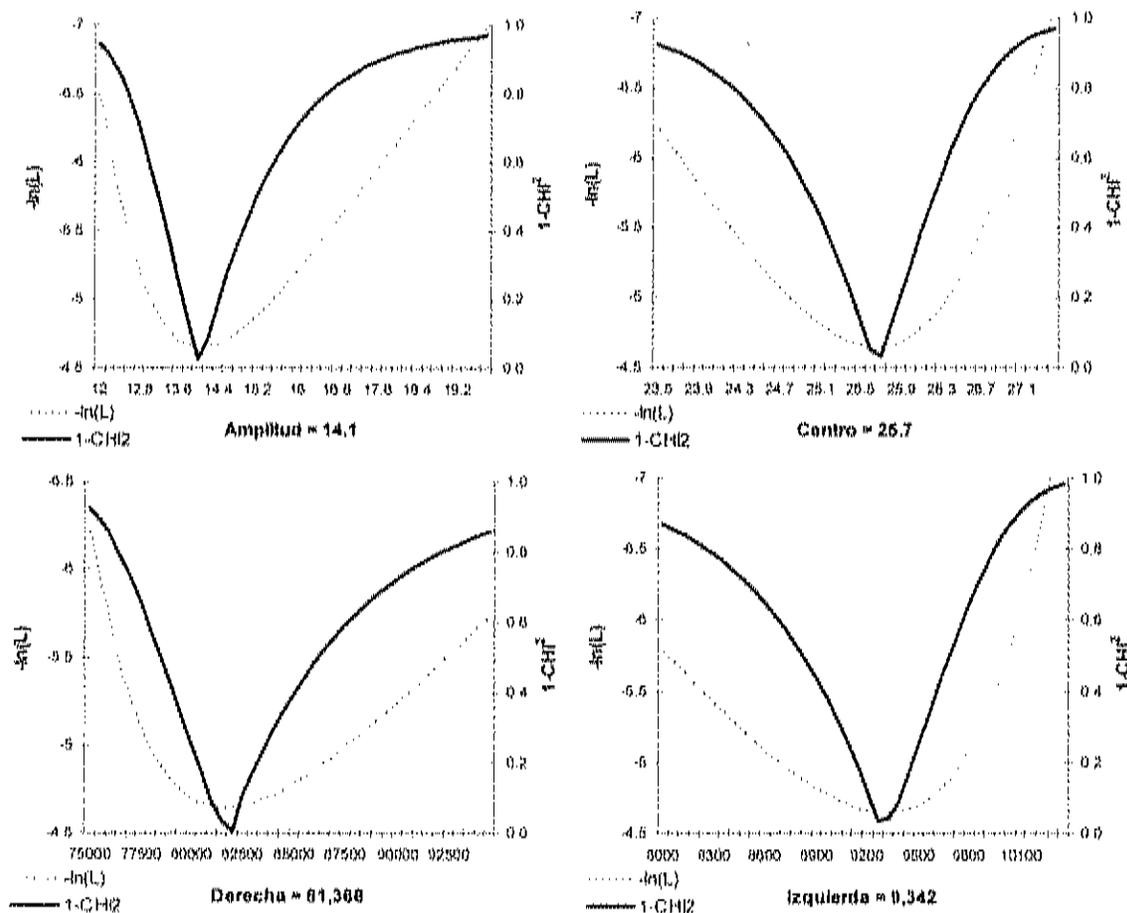


Figura 22. Perfiles de verosimilitud y probabilidad $1-\chi^2$ para los cuatro parámetros del modelo de Weibull en el camarón café.

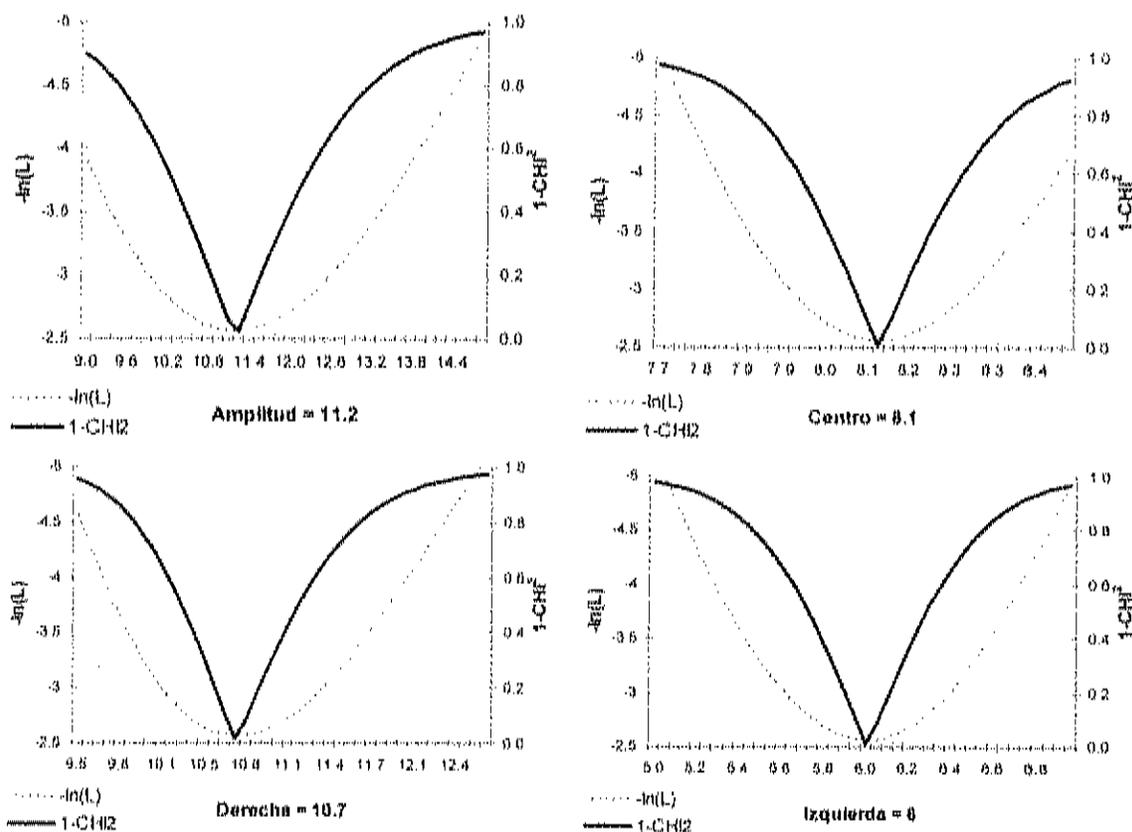
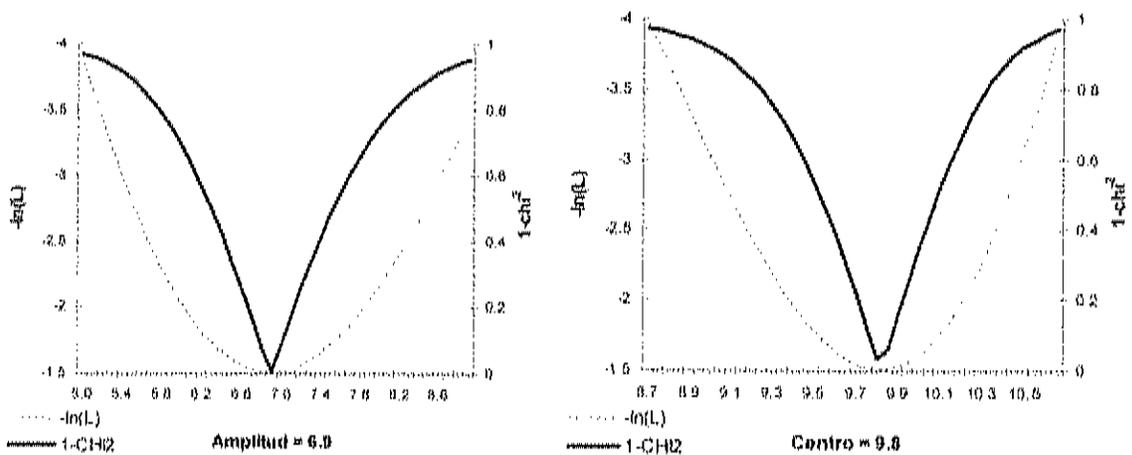


Figura 23. Perfiles de verosimilitud y probabilidad $1-\chi^2$ para los cuatro parámetros del modelo de Weibull en el camarón azul.



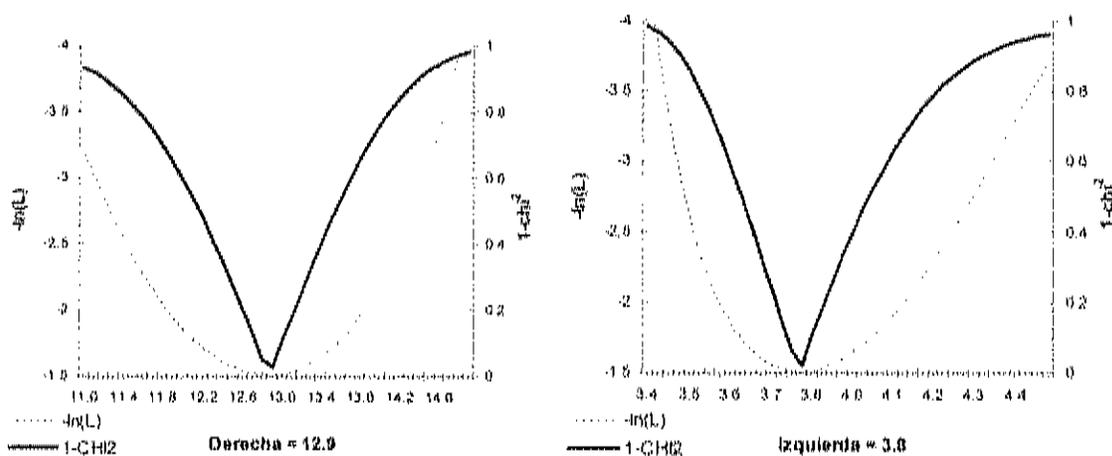


Figura 24. Perfiles de verosimilitud y probabilidad $1-\chi^2$ para los cuatro parámetros del modelo de Weibull en el camarón blanco.

Variable: Distancia a Puerto

La distribución del esfuerzo basada en la variable “Distancia a puerto” tuvo su mejor ajuste con una distribución normal, con media de 112 km y desviación estándar de 56 km (Fig. 25). Para este ajuste la distancia óptima a puerto con base en la cual están operando los barcos camaroneros es aproximadamente de 110 km y presentan un intervalo de distribución que va de los 40 a los 180 km de distancia. Los perfiles de verosimilitud generados para el ajuste del modelo de distribución normal $N(0, \sigma^2)$ se presentan en la figura 26.

De acuerdo con los resultados anteriores y considerando que solo hay dos puertos de atraque en el área de estudio, Mazatlán al sur y Topolobampo al norte, las zonas que preferentemente son utilizadas por los barcos camaroneros para operar corresponden al área de influencia del sistema lagunar bahía Santa María-La Reforma, a la bahía de Ceuta y a la zona norte de Nayarit donde hay influencia del sistema lagunar Marismas Nacionales.

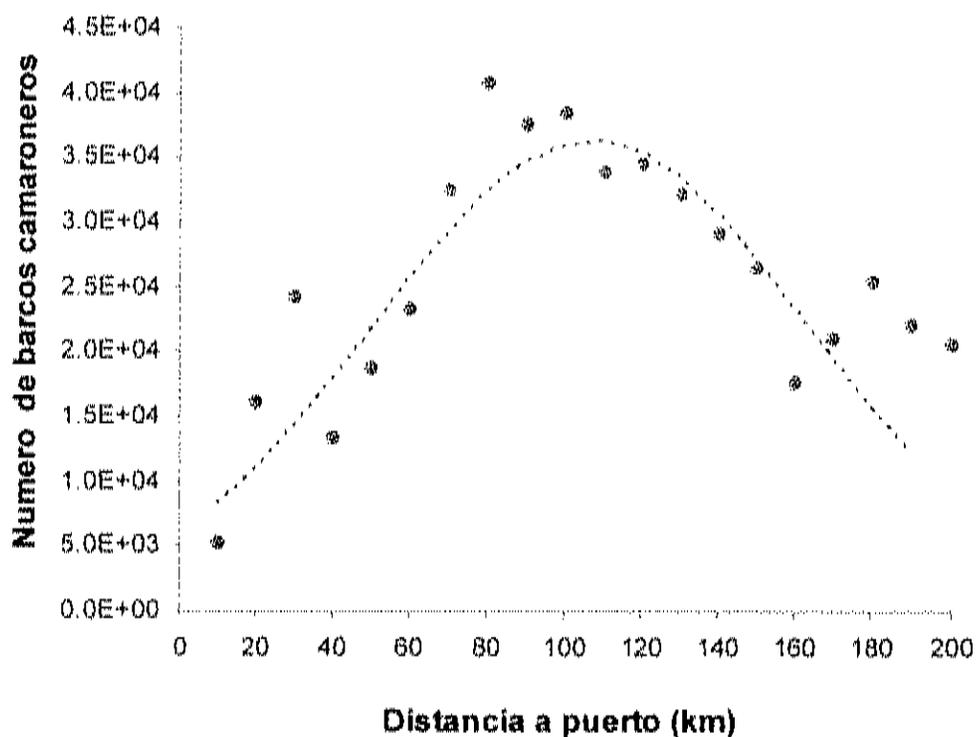


Figura 25. Ajuste a un modelo de distribución Normal de la relación: Número de barcos camaroneros vs distancia a puerto (km). Los puntos representan el número de barcos obtenido de datos procedentes del programa de seguimiento satelital de CONAPESCA.

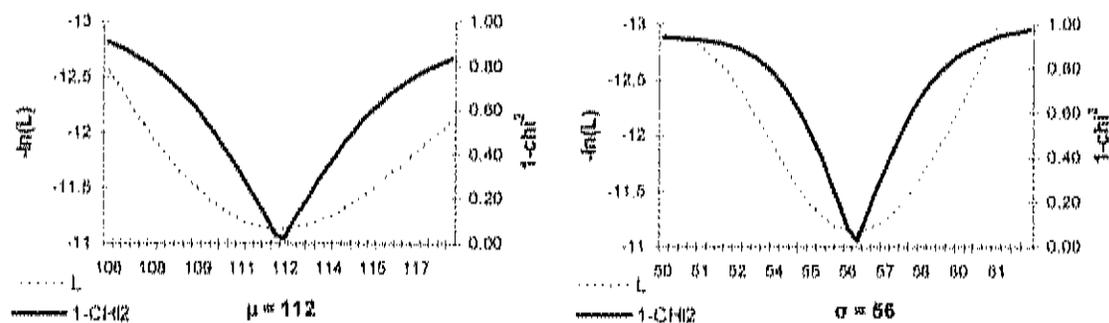


Figura 26. Perfiles de verosimilitud y probabilidad $1-\chi^2$ de los parámetros de una distribución normal del número de barcos con relación a la distancia a puerto.

Variable: Distancia a la Boca más Cercana

La distribución del esfuerzo con base en la variable "Distancia a la boca más cercana" se ajustó a una distribución log-normal, obteniéndose un valor de 3.1 para el estimador de μ y con desviación estándar de 0.6. De acuerdo con este modelo, la distancia óptima a la cual están operando los barcos camaroneros alrededor de las bocas, es aproximadamente de 20 km, dentro de un intervalo que va de los 10 a los 35 km de distancia (Fig. 27).

Los perfiles de verosimilitud para el ajuste del modelo por especie se pueden observar en la figura 28. La distribución del esfuerzo de pesca relacionada con esta variable parece estar determinada por las disposiciones oficiales (NOM-002-PESC-1993), que prohíben ejercer el esfuerzo de pesca a una distancia menor a cinco millas (9.3 km) alrededor de las bocas de bahías, lagunas, esteros y deltas de ríos y arroyos. Para el presente trabajo aunque en apariencia existen registros de embarcaciones situadas en proximidad con las bocas, el número de estos es escasamente representativo de la operación general de la flota, que en términos generales se ubica a una distancia mínima de 10 km con respecto a las bocas, acorde con la normatividad vigente.

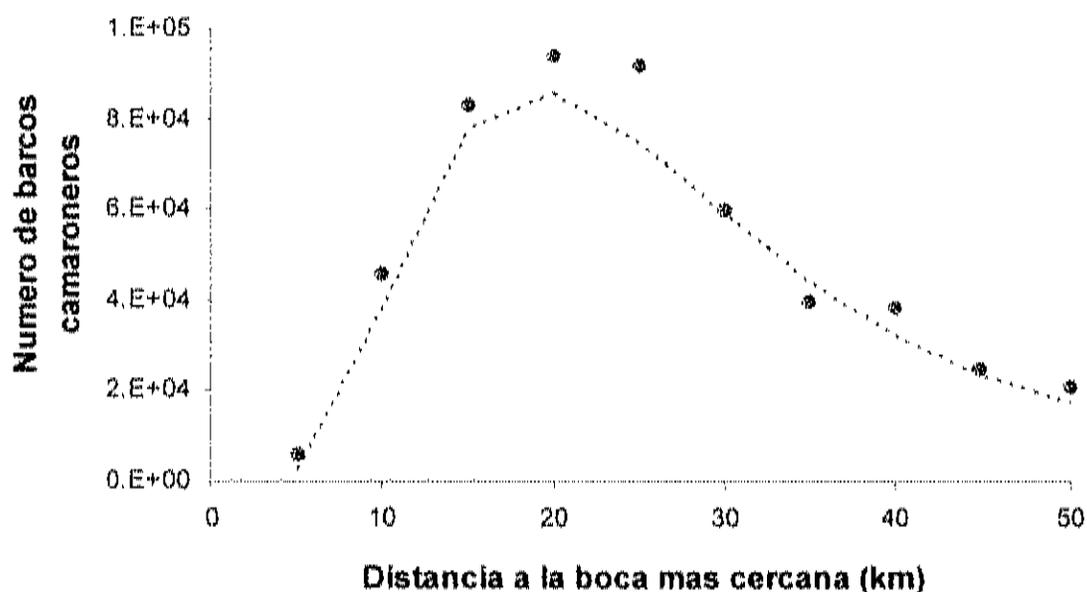


Figura 27. Ajuste a un modelo de distribución log-Normal de la relación: Número de barcos camaroneros vs distancia a la boca más cercana puerto (km). Los puntos representan el número

de barcos obtenido de datos procedentes del programa de seguimiento satelital de CONAPESCA.

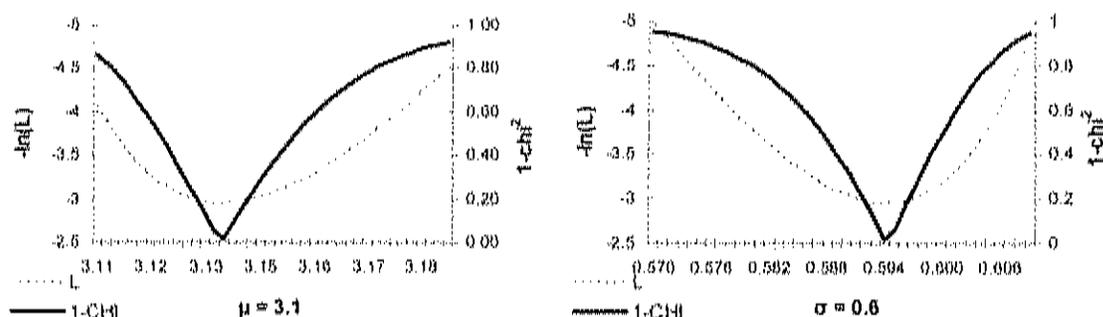


Figura 28. Perfiles de verosimilitud y probabilidad $1-\chi^2$ de los parámetros de una distribución log-Normal del número de barcos con relación a la distancia a la boca más cercana.

Distribución del Esfuerzo

Una vez que se contó con los modelos de distribución batimétrica del recurso y de la distribución de la flota en función de la distancia a puertos y a la boca más cercana, se integraron en un modelo único de distribución del esfuerzo, siguiendo la propuesta de Corsi (2000b) descrita en la sección de métodos.

Los mapas resultantes adquieren unidades de esfuerzo estimadas por unidad de área (h/km^2) para cada una de las tres especies (Fig. 29). Dadas las características de la información proporcionada por el programa de seguimiento satelital de CONAPESCA, especialmente en cuanto al tamaño de la serie de tiempo, se asumió la misma distribución para los tres años de estudio.

Con base en los resultados se determinó que en general no hay diferencias importantes en la aplicación del esfuerzo en función de las subzonas propuestas por el INP. Para las diferentes subzonas propuestas por el INP, y dependiendo de la especie objetivo, se observa que para el camarón café el esfuerzo tuvo un intervalo de variación de $12.2 h/km^2$ en la subzona 31 hasta $17.8 h/km^2$ en la subzona 41. En el caso del camarón azul el intervalo se situó entre $12.5 h/km^2$ en la subzona 42 y un máximo de

20.5 h/km² en la subzona 32, al norte del área. Finalmente para el camarón blanco se obtuvo un valor mínimo de 13.3 h/km² en la subzona 41 y un máximo de 18.3 h/km² en la subzona 33. Esto implica una diferencia aproximada de 5 a 7 h/km² entre los valores mínimos y máximos de esfuerzo aplicado en toda la zona de estudio para las tres especies.

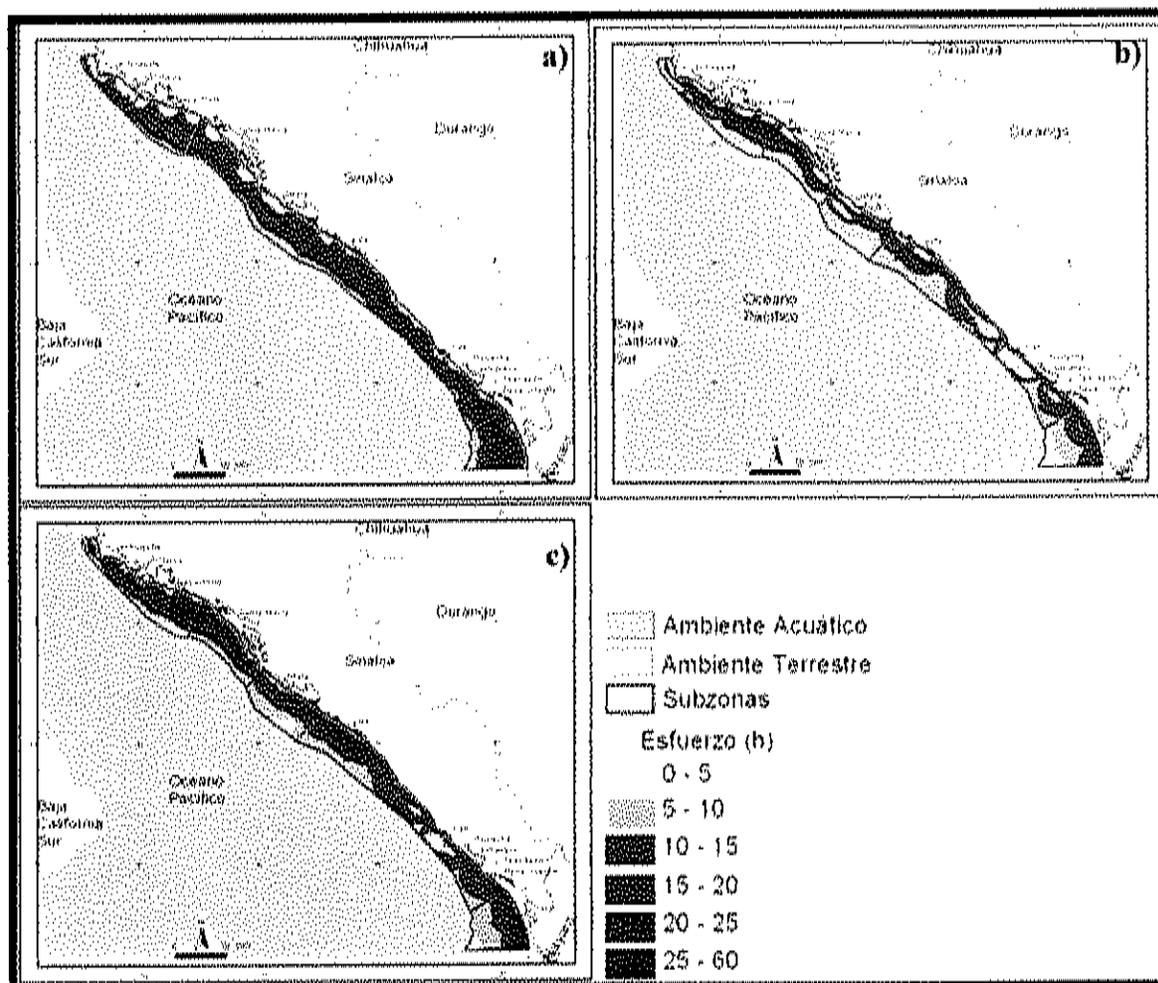


Figura 29. Distribución espacial del esfuerzo de pesca (h/km²) en las zonas 30 y 40 en los meses de septiembre a diciembre de 2006 para camarón; a) café, b) azul y c) blanco.

En la figura 30 se describe la distribución del esfuerzo por unidad de área por subzona y para las tres especies. En términos generales se aprecia una distribución que no necesariamente sigue los patrones espaciales de distribución del recurso, con mayores valores de aplicación del esfuerzo en la zona norte, dirigido a las especies de camarón

azul y blanco y gradiente inverso, norte-sur- asociado al camarón café. En la mayoría de los casos es evidente que hay una mayor aplicación de esfuerzo dirigido a las especies de camarón azul y blanco, cuyo valor económico es mayor que el de camarón café.

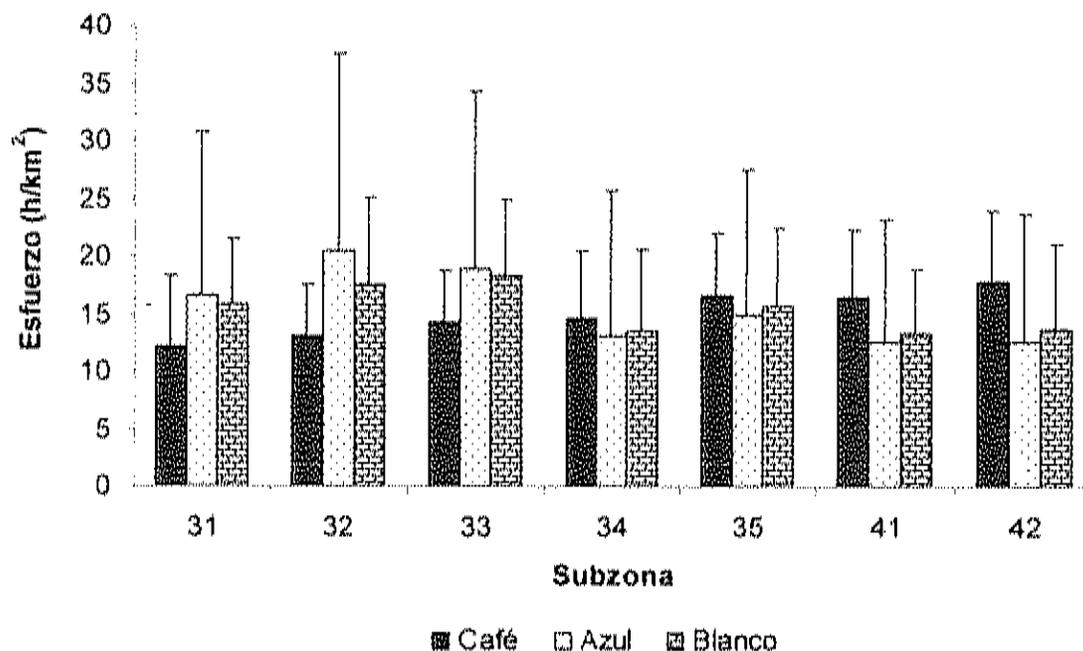


Figura 30. Media y desviación estándar del esfuerzo aplicado (h/km^2) por subzona y especie en los meses de septiembre a diciembre de 2006.

Tracey (2001) reporto una situación similar del esfuerzo de pesca con respecto a la abundancia del recurso. Mencionando que la distribución del esfuerzo no depende sólo de la abundancia del recurso, sino en gran medida por los factores ambientales del área, donde el piso oceánico juega un rol importante, sobretodo en lugares imposible de operar y con altos valores de abundancia del recurso.

El piso oceánico del área de estudio del presente trabajo fue una variable que no se incluyó dentro del análisis, sobre todo por la carencia de información que se tiene al respecto. Montana (2005) realizo una categorización del piso oceánico en las costas de Sinaloa con una baja cantidad de puntos de muestreos (187), remarcando la falta de estudios de este tipo.

La similitud en la distribución del esfuerzo de pesca para las tres especies, también puede deberse a la aplicación de las variables Distancia a puerto y Distancia a la boca más cercana, que son comunes para el análisis al no disponerse de información que permita segregar el esfuerzo aplicado por especie.

De acuerdo con diversos autores (Caddy y Carocci, 1999; Corsi, 2000b; Baro *et al.*, 2004), la distancia al puerto es una de las variables más recomendadas en la literatura para explicar la distribución del esfuerzo de pesca, especialmente por lo que pudiera significar en términos de costos económicos en la pesca. Sin embargo, en una pesquería industrial como la del camarón en México, esta variable no necesariamente es representativa pues la mayoría de las embarcaciones camaroneras del Pacífico mexicano presentan una autonomía promedio de 31 días, con mínimo 14 y máximo de 60 días (Esparza *et al.*, 1999), lo cual permite que se desplacen por el área de estudio, sin depender en gran medida por la distancia del puerto de atraque, como es el caso de las pesquerías de arrastre en el Mediterráneo y otros sistemas pesqueros regionales (Caddy y Carocci, 1999; Corsi, 2000b; Baro *et al.*, 2004)

Una solución aplicable a distintas especies de camarón puede ser el uso de diferentes variables para cada especie, incluyendo, además de las utilizadas hasta el momento, la distribución latitudinal, de particular utilidad para las especies de camarón azul y blanco que presentan un marcado gradiente latitudinal en sus abundancias (Madrid-Vera *et al.*, 2001b) y la relación antes mencionada del piso oceánico (Hendrickx, 1996) en los lugares de pesca (Tracey, 2001). Al respecto se cuenta con alguna información, sin embargo es insuficiente para generar las capas de información que requerirían ser integradas al SIG.

Evaluar la distribución del esfuerzo de la pesca es un problema bastante delicado en el desarrollo de un sistema de información geográfica para la gestión de pesca. Por lo general, resulta costoso disponer de información fiable y precisa sobre la localización geográfica del esfuerzo de pesca, en función de los múltiples criterios que se han de tener en consideración, y de los problemas de confidencialidad. Sin embargo, los avances científicos recientes proponen una alternativa interesante a estos programas de

trabajo, la simulación de la distribución espacial probabilística de una variable como el esfuerzo de pesca, utilizando una función de distribución, permite generar un mapa de intensidad del esfuerzo de pesca.

A pesar de esa carencia, es importante destacar la aportación que el sistema satelital de monitoreo de embarcaciones pesqueras operado por la CONAPESCA, que a pesar de las limitaciones que imponen sobre los criterios de confidencialidad, provee información útil sobre las zonas que son utilizadas por la flota industrial de camarón para operar en tiempo real, sin embargo el conocer la especie objetivo de las embarcación sería información útil para conocer la distribución del esfuerzo de pesca para cada especie.

Sistema: Categorización de la pesquería

De acuerdo a lo esperado con el modelo de producción excedente de Schaefer (1955), el cual propone que existe una relación lineal inversamente proporcional entre esfuerzo y la *CPUE*, en el presente estudio se evidenció esta tendencia en todos los casos siendo significativamente distinta de cero ($F > 7$; $p < 0.01$). El ajuste al modelo lineal proporcionó una estimación del valor de la pendiente (b), a partir del cual y de acuerdo con los supuestos del modelo de Corsi (2000b), dio elementos que permitieron categorizar la pesquería por especie; uno de los objetivos finales del presente estudio.

Sin embargo a diferencia de lo que hace el autor citado, para el presente estudio no se asignan las categorías sub y sobre explotado y en su lugar se aplican las de bajo y alto riesgo de explotación considerando que la pesquería de camarón esta tipificada como plenamente explotada (CNP, 2006).

En todos los casos el valor del coeficiente de determinación (r^2) obtuvo valores muy bajos, que en el mejor de los casos fue menor de 0.45, siendo el número de datos ($> 14,000$) determinante para alcanzar niveles de significancia estadísticamente distintos de cero. Por lo anterior se procedió a modificar el análisis de regresión, usando las mismas variables, pero con los valores de *CPUE* promediados por intervalos definidos de

esfuerzo. Este procedimiento permitió que los valores de r^2 se incrementaran de manera consistente, pero solamente se tomaron como válidos los valores de $r^2 > 0.5$, siendo el camarón café el único que se encontró en esta situación en todos los años y con ambos métodos de interpolación (Tabla 4), excluyéndose de la discusión a las otras dos especies en análisis.

Tabla 4. Coeficiente de determinación (r^2) y valor de la pendiente (b) de la regresión entre CPUE promedio y esfuerzo de pesca de camarón café, por año y método de interpolación.

<i>Año</i>	<i>Método</i>	r^2	<i>b</i>
2004	Kriging	0.73	-0.60
2004	IDW	0.67	-0.48
2005	Kriging	0.54	-1.49
2005	IDW	0.50	-1.25
2006	Kriging	0.67	-2.47
2006	IDW	0.76	-1.41

La distribución de los niveles de riesgo indica que, de acuerdo con el método de IDW, el 59% del área está en situación de alto riesgo de explotación del camarón café. Se presentan tres zonas donde principalmente se advierte el deterioro; al norte frente a los sistemas Lechuguilla-Navachiste, en el centro frente al sistema Altata-Ensenada de Pabellón y en la parte sur de la zona de estudio (Fig. 31).

Con el método Kriging, la zona de mayor riesgo se incrementó a 63% del área total, con una gran zona de centro al sur, abarcando prácticamente toda el área a partir de la subzona 35 (Fig. 32). Al norte, frente a bahía Santa María y Altata, pero especialmente en la subzona 31 también se observan áreas clasificadas de alto riesgo, pero su extensión es relativamente pequeña en comparación a la mencionada anteriormente.

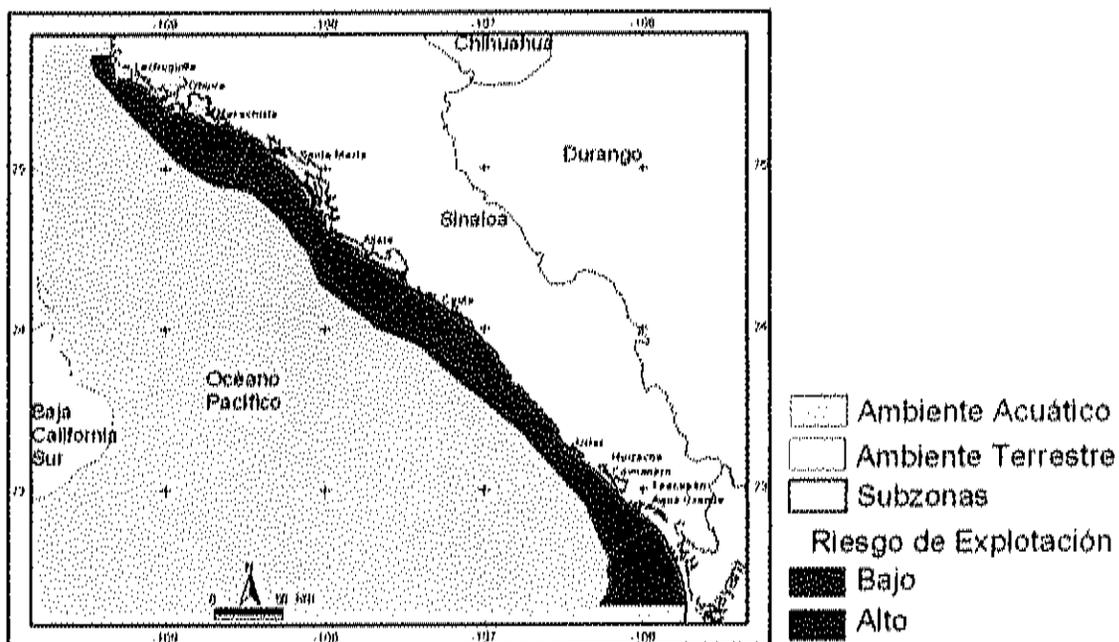


Figura 31. Nivel de riesgo de explotación de camarón café en función del esfuerzo pesquero y de la abundancia relativa promedio del recurso durante tres años de estudio (2004 a 2006) con el método de IDW.

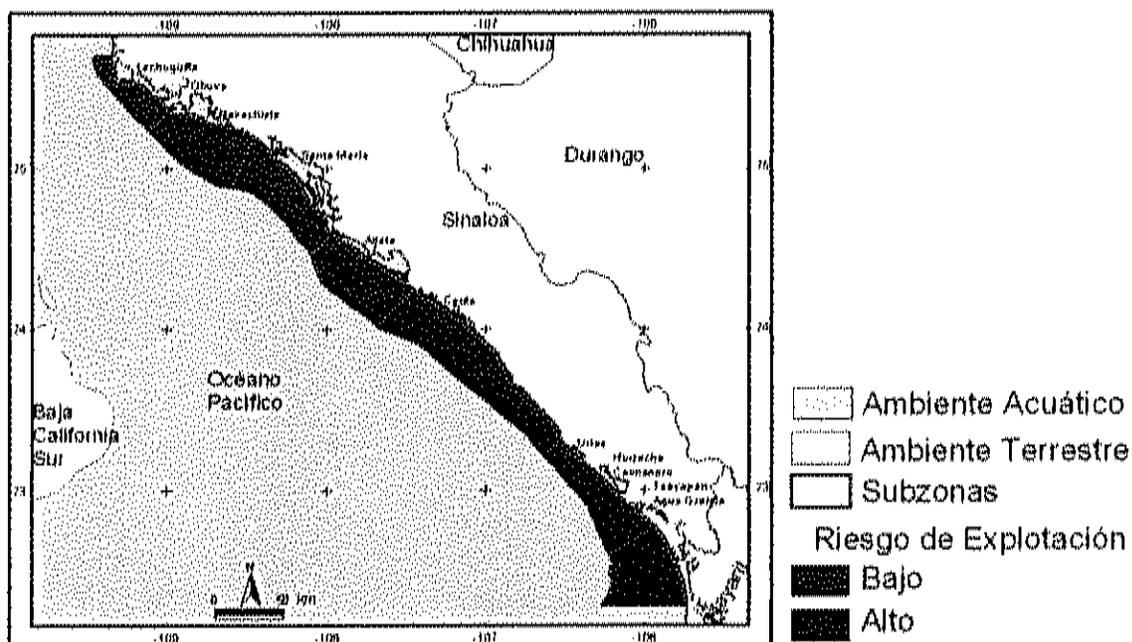


Figura 32. Nivel de riesgo de explotación de camarón café en función del esfuerzo pesquero y de la abundancia relativa promedio del recurso durante tres años de estudio (2004 a 2006) con el método de Kriging.

Sí bien se advierten diferencias entre los resultados derivados de ambos métodos de interpolación, con un incremento en la zona de alto riesgo con la estimación por Kriging con respecto a IDW, hay una elevada concordancia a nivel geográfico, con valores de similitud de 67%, entre los mapas derivados de la aplicación de ambos métodos. En ese sentido, ambos resultados concuerdan en caracterizar mayoritariamente a la zona como de alto riesgo para la pesquería del camarón.

Sin embargo, pese a las evidencias esto no puede validarse de manera absoluta en tanto que el modelo no permite matizar las zonas donde la distribución del recurso es escasa o nula, comparativamente con el esfuerzo aplicado. Así, cualquier nivel de esfuerzo que se detecte sobre una zona donde cualquiera de las especies esta ausente generará valores de *CPUE* extremadamente bajos, que serán detectados como zonas de alto riesgo. De manera análoga, donde la distribución del recurso corresponda a abundancias relativas elevadas y el esfuerzo sea mínimo, se establecerán áreas definidas de bajo riesgo. De ahí la importancia de que los datos sobre esfuerzo requieran necesariamente ser etiquetados y depurados para ajustar adecuadamente los modelos y evitar sobre o subdimensionamiento del esfuerzo y consecuentemente de la *CPUE*.

Para poder explicar los resultados, debe recordarse la manera en que trabajan ambos métodos de interpolación. Una de las principales diferencias entre estos es la fidelidad que guardan con los datos de entrada para generar sus respectivas estimaciones. El método de IDW es un método que conserva la información de entrada, generando una superficie irregular en sus estimaciones, por tal motivo, las zonas de menor abundancia presentan una clara diferencia con respecto a las zonas de mayor abundancia.

Por su parte el método de Kriging y efecto de los variogramas utilizados en sus estimaciones genera una superficie regular. Estas diferencias entre ambos métodos se puede observar en las estimaciones realizadas de las abundancias del recurso, donde en los valores de la desviación estándar fueron siempre menores con Kriging que IDW. Por tal motivo, Kriging homogeniza los valores de la abundancia, lo que deja al esfuerzo de pesca como la principal variable que causa la diferenciación del estado de la pesquería.

En general y de acuerdo con los resultados obtenidos, se evidencia la utilidad de los SIG para el estudio de la pesquería desde una perspectiva espacial, que fue la ventaja que tuvo el integrar este tipo de herramientas dentro del análisis, con lo que es posible conocer zonas donde el recurso está siendo afectado por un exceso de la actividad pesquera. Si bien este trabajo se presenta como una primera aproximación de la integración de los patrones espaciales y temporales dentro del ámbito de la pesquería de camarón de altamar, cuyo conocimiento detallado puede tener implicaciones importantes de manejo diferencial de la pesquería, particularmente en las zonas deterioradas, es bien conocido que la efectividad de los SIG radica en la calidad y cantidad de la información que incorpore, por lo que se hace necesario que este tipo de sistemas se actualice y amplíe para lograr los objetivos de manejo para los que son diseñados.

La adición de información proveniente de futuros cruceros realizados por el CRIP-INP o derivada de cruceros oceanográficos, con un mayor nivel de resolución espacial puede ser un elemento crítico para reducir la incertidumbre de las estimaciones y dada la incorporación de tecnologías de GPS a las embarcaciones, es de esperarse que esta se reduzca en el futuro, aumentando la confiabilidad de las estimaciones.

Al respecto debe señalarse que si bien la información proporcionada por CONAPESCA fue particularmente importante para la evaluación indirecta de la distribución del esfuerzo de pesca para cada una de las especies objetivo, se requiere necesariamente de datos más específicos sobre el esfuerzo ejercido sobre cada una de las especies para mejorar ajuste de los modelos y eliminar la incertidumbre que puede generar la sobre o sub-estimación del esfuerzo de pesca.

CONCLUSIONES

- El modelo batimétrico obtenido representó adecuadamente la distribución de la actividad pesquera de la flota industrial de camarón y por lo tanto se considera que es un instrumento adecuado para la delimitación de la zona de pesca. Sin embargo es evidente que deberá mejorarse con la incorporación de nuevos datos, que además aporten información sobre las características del piso batimétrico.
- Las estimaciones de abundancia del recurso realizado con ambos métodos de interpolación, mostraron tendencias espaciales y temporales similares, aunque dada la naturaleza de cada método se privilegian criterios de la abundancia del recurso (IDW) o del esfuerzo (Kriging).
- La distribución espacial de las especies de *Litopenaeus* spp. sigue una aparente estratificación latitudinal, que no se observa de manera evidente en las estimaciones de abundancia de *F. californiensis*.
- Por las características de la información fuente no es posible determinar patrones de distribución del esfuerzo aplicado por especie en la pesca industrial de camarón. Por ello la similitud en la distribución del esfuerzo observada en toda el área de estudio, es producto de la ausencia de información más que de la presencia de un diferencial en la aplicación del esfuerzo por especie.
- La aplicación de modelos espaciales similares a los usados en el presente trabajo para caracterizar la pesca industrial de camarón, se presenta como una alternativa para expresar la distribución del esfuerzo de pesca, si bien limitada al no poder contar con información desagregada por especie de la flota industrial de camarón.
- Como resultado del presente análisis solo es posible concluir que la mayor proporción de la zona de pesca de la flota industrial que incide sobre el camarón café en el sureste del golfo de California se encuentra en alto riesgo de explotación. Una conclusión semejante para las otras especies no fue posible en

virtud de no haberse observado una relación inversa entre CPUE y esfuerzo, estadísticamente significativa.

- La cantidad y calidad de la información disponible representó una limitación para analizar adecuadamente la pesquería industrial de camarón por especie.
- El modelo propuesto en el presente trabajo sirve de base para el desarrollo de un sistema de información geográfico - pesquero, que puede ser de utilidad para integrar las distintas flotas y especies que intervienen en la pesquería de camarón de México, promoviendo elementos para su manejo sustentable.

LITERATURA CITADA

- Ackerman S. D., B. Butnam, J. F. Denny, W. W. Danforth y J. M. Crocker, 2006. *Using NOAA hydrographic data for high-resolution geologic mapping of the seafloor: Boston harbor and approaches*. Resumen de *Geographic information systems and ocean mapping in support of fisheries research and management conference*. Cambridge, Massachusetts, USA. 37-39p.
- Aguilar-Manjarrez J., 1996. *Development and evaluation of GIS-based models for planning and management of coastal aquaculture: A case study in Sinaloa, Mexico*. Tesis doctoral. Institute of Aquaculture. University of Stirling. Scotland. 373 p.
- Aguilar-Manjarrez J. y L. Ross, 1995. *Geographical information system (GIS) environmental models for aquaculture development in Sinaloa State, Mexico*. *Aquaculture International*, 3(2): 103-115.
- Babcock E. A., E. K. Pikitch, M. K. McAllister, P. Apostolaki y C. Santora, 2005. *A perspective on the use of specialized indicators for ecosystem-based fishery management through spatial zoning*. *ICES Journal of Marine Science*. 62: 469-476.
- Baro J., J. M. Serna-Quintero, I. Sobrino, M. P. Jiménez y L. M. Fernández-Salas, 2004. *An approach to the spatial distribution of fishing effort in the gulf of Cadiz*. *Thalassas*. 20 (2): 17-21.
- Bartlett D. J., 2000. *Working on the frontiers of Science: Applying GIS to the Coastal Zone*. En *Marine and Coastal Geographical Information Systems*, Wright D. J. y Bartlett (eds.) Taylor & Francis Group. 11-24.
- Boyer-Quero S. y J. Acosta-Jimeno., 2003. *Selección de zonas de exclusión para la colocación de arrecifes artificiales con fines pesqueros mediante el uso de tecnología SIG*. Resumen. Resultados preliminares. X Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar. DGCyTM. Mexico. 10-12p.

- Caddy J. F. y S. García, 1986. *Fisheries thematic mapping - a prerequisite for intelligent management and development of fisheries*. *Oceanographie Tropicale*, 21(1): 31-52.
- Caddy J. F. y F. Carocci, 1999. *The spatial allocation of fishing intensity by port-based inshore fleets: a GIS application*. *ICES Journal of Marine Science*; 56: 388-409.
- Carranza-Edwards A. M., M. E. Gutiérrez y R. T. Rodríguez, 1975. *Unidades morfoestructónicas continentales de las costas mexicanas*. *Anales centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*, 2 (1); 81-88.
- CNP, 2006. Carta Nacional Pesquera. CONAPESCA, México, 127p.
- Corsi F., 2000a. *Geographical information systems and surplus production models: a new model for spatial assessment of demersal resources*. In M. Taconet & A. Bensch, eds. *Towards the Use of Geographic Information Systems as a Decision Support Tool for the Management of Mediterranean Fisheries*. *Informes y Estudios COPEMED No. 4*.
- Corsi F., 2000b. *Spatial distribution of fishing effort: modelisation through deductive methodologies*. In M. Taconet & A. Bensch, eds. *Towards the Use of Geographic Information Systems as a Decision Support Tool for the Management of Mediterranean Fisheries*. *Informes y Estudios COPEMED No. 4*.
- Cressie N. A. C., 1990. *The Origins of Kriging*. *Mathematical Geology*, 22: 239-252.
- De Graaf G., F. Martin, J. Aguilar-Manjarrez y J. Genes, 2003. *Geographic information systems in fisheries management and planning*. *FAO Fish. Tech. Pap.* 449. Rome, 162 p.
- De la Lanza Espino G. y F. Flores Verdugo, 2003. *Oceanografía del estado de Sinaloa*. En: Cifuentes-Lemus J. L. y J. Gaxiola-Lopez. *Atlas de los Ecosistemas de Sinaloa*. El Colegio de Sinaloa, México. 75-89 p.
- Díaz S. J. y J. López B., 2000. *Evaluación del potencial para acuicultura costera de camarón en el entorno de la laguna de Mar Muerto, mediante la aplicación de técnicas de análisis multicriterio con un SIG*. *Inv. Geog.*, 41:62-80

- Die D. J. y R. A. Watson, 1993. *A per recruit model simulation for evaluating spatial closures in Australian penaeid fisheries*. Aquatic Living Resources. 5:145-153.
- Esparza-Carvajal L. E., V. Moreno-Borrego y J. A. Virgen Avila, 1999. *Caracterización del sistema de pesca de la flota camaronera que opera desde el puerto de Mazatlán Sinaloa*. Doc. técnico, INP. 31 p.
- Esparza-Carvajal L. E., 2003. *Impacto del área arrastrada por la flota camaronera de Mazatlán Sinaloa sobre la disponibilidad de áreas pescables del recurso camarón*. Doc. técnico, INP. (En preparación).
- FAO, 2004. *El estado mundial de la acuicultura y la pesca 2004*. Food and Agriculture Organization. Roma. Italia. 150 pp.
- Fortunati L., G. Garofalo y R. Demontis, 2002. *TSDV: A GIS tool for inspecting trawl survey data*. ICES Journal of Marine Science. 59: 168.178.
- Fox D. S y R. M. Starr, 1996. *Comparison of commercial fishery and research match data*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53: 2681-2694.
- Garibaldi L. y J. F. Caddy, 1998. *Biogeography characterization of Mediterranean sea faunal provinces using GIS procedures*. Ocean and Coastal Managment. 39: 211-227.
- Hendrickx, M. E. 1996. *Los Camarones Penaeoidea Bentónicos (Crustacea: Decapoda: Dendrobranchiata) del Pacífico Mexicano*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, U.N.A.M. México. 147 p.
- Hernández-Carballo E. A., 2004. *Historia de la pesquería de camarón en el Pacífico mexicano*. In: *Foro de investigación de camarón del Pacífico: Evaluación y manejo*. (Ed.) INP. 19 p.
- Hilborn R. y C. Walters, 1992. *Quantitative fisheries stock assessment. Choice, dynamics and uncertainty*. Chapman-Hall, New York. 570 p.
- Hilborn, R. y M. Mantel, 1997. *The ecological detective. Confrontating models with data*. Priceton University Press. 315 p.

- INP, 2001. *Plan de manejo para la pesquería de camarón en el litoral del océano pacífico mexicano*. Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 76 p.
- INP, 2005. *Análisis de las poblaciones de camarón durante la veda del 2005 en el litoral del pacífico mexicano*. Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 69 p.
- Isaaks E. H. y R. M. Srivastava, 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York.
- Kapetsky J. M., J. M. Hill, L. D. Worthy y D. L. Evans., 1990. *Assessing potential for aquaculture development with a geographical information system*. J. World Aquaculture Society, 21: 241-249.
- Lawson C. L., 1977. *Software for CI surface interpolation*, *Mathematical Software III*, J. Rice (ed.), Academic Press, New York. 161-193 p.
- Le Pape O., F. Chauvet, S. Mahévas, P. Lazure, D. Guérault y Y. Désaunay, 2003. *Quantitative description of habitat suitability for the juvenile common sole in the Bay of Biscay and the contribution of different habitats to the adult population*. Journal of Sea Research. 50: 139-149.
- Madrid-Vera J., D. Chávez-Herrera y J. M. Melchor-Aragón, 2001a. *Situación actual de las poblaciones de camarón café (*Farfantepenaeus californiensis*), en las costas de Sinaloa y norte de Nayarit, México*. Informe de Investigación. Instituto Nacional de la Pesca. CRIP-Mazatlán, Sinaloa, México.
- Madrid-Vera J., J. M. Melchor, D. Castro-Castro y D. Chávez-Herrera, 2001b. *Áreas de pesca restringidas y protegidas al camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en las costas del norte de Nayarit y Sinaloa*. Doc. técnico, INP. 16 p.
- Madrid-Vera J., H. Aguirre y A. E. González, 2003. *Abundance and distribution patterns of commercial shrimp (*Penaeoidea*) during close seasons in the Nayarit Coast, México*. Doc. técnico, INP. 13 p.

- Meaden G. J., 2000. *Applications of GIS to Fisheries Management*. En Marine and Coastal Geographical Information Systems, Wright D. J. y Bartlett (eds.) Taylor & Francis Group. p 205-226.
- Meaden G. J. and J.M. Kapetsky, 1991. *Geographical information systems and remote sensing in inland fisheries and aquaculture*. FAO Fisheries Technical Paper. No. 318. Rome, FAO. (Reimpreso 1995), 262 p.
- Montana C. J. y A. Ruiz-Luna, 2003. *La pesca artesanal de Sinaloa analizada en un contexto espacio-temporal por medio de un Sistema de Información Geográfica*. Memorias del II foro científico de pesca ribereña. Colima, Colima, México. 10-13p
- Montana C. J., 2005. *Diseño de sistemas de información geográfica para la pesca artesanal de Sinaloa*. Tesis de grado del ICM y L de la UNAM, 116 p.
- Morris L. y D. Ball, 2006. *Habitat suitability modeling of economically important fish species with commercial fisheries data*. ICES Journal of Marine Science. In Press.
- Moy C. Y., T. J. Dobrzinski, E. P. Keane y D. L. Klem, 2006. *Development of a geographic information systems as a management tool to reduce by catch of sea turtles in U. S. Atlantic Ocean and Gulf of Mexico fisheries.*, Resumen del *Geographic Information Systems and Ocean Mapping in Support of Fisheries Research and Management*. Cambridge, Massachusetts, USA.
- Munro J. L. y R. Thompson, 1983. *The Jamaican fishing industry*. ICLARM Stud. Rev. 7:15-25.
- Paredes M. R., 2007. *Estimación de la abundancia de las poblaciones de camarón café Farfantepenaeus californiensis (Holmes, 1900) en el sureste del golfo de California aplicando el teorema de Bayes*. Tesis de grado del ICM y L de la UNAM, 54 p.
- Padilla P. A. R., 2002. *Sistema de Información geográfica de los océanos*. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM, México. 98 p.
- Pauly D., R. Watson y J. Alder, 2005. *Global trends in world fisheries: impacts on marine ecosystems and food security*. Philosophical Transactions of The Royal Society: Biological Sciences 360(1453): 5-12.

- Pérez V. T. L., 2003. *Dinámica poblacional del camarón blanco Litopenaeus vannamei (Boone, 1931) en la plataforma continental de Sinaloa y Nayarit*. Tesis de grado del ICM y L de la UNAM, 86 p.
- Politis P., 2003. *Application of GIS in marine fisheries trawls surveys*. University of Rhode Island. http://www.edc.uri.edu/nrs/classes/NRS409/509_2003/pp.pdf.
- Ramírez-Rodríguez M., E. Chávez y F. Arreguín-Sánchez, 2000. *Perspectiva de la pesquería de camarón rosado (Farfantepenaeus duorarum BURKENROAD) en la sonda de Campeche, México*. Ciencias Marinas, 26(1):97-112.
- Riolo F., 2006. *A geographic information system for fisheries management in American Samoa*. Environmental Modelling & Software, in press.
- Rodríguez de la Cruz M. C., 1981. *Aspectos pesqueros del camarón de alta mar en el Pacífico mexicano*. INP. Cienc. Pesq. 1(2):1-19.
- Ruttan L. M., 2003. *Flinding fish: grouping and match-per-unit-effort in the Pacific hake (Merluccius productus) fishery*. Can. J. Fish Aquat. Sci. 60: 1068-1077.
- Schaefer M. B., 1955. *Algunos aspectos de la dinámica de las poblaciones y su importancia para la administración de pesquerías marinas comerciales*. Bull. Inter-Amer Trop. Tunna Comm. 1 (3): 59-88.
- Sparre P. y S. C. Venema, 1995. *Introducción a la evaluación de los stocks de peces tropicales*. 2 tomos. FAO. Documentos Técnicos de Pesca 306.
- Tracey P. F., 2001. *An analysis of the trawl and loglines fisheries for merluccius capensis Off the west coast of South Africa*. Tesis de Maestría. Rhodes University. 124 p.
- Valavanis V. D., S. Georgakarakos, A. Kapantagakis, A. Pali Alexis y I. Katara, 2004. *A GIS environmental modeling approach to essential fish habitat designation*. Ecological Modelling. 178: 417-427.
- Weí L., B. Huang y L. Rong-Rong, 2002. *Assessing the effect of fisheries development on aquatic vegetation using GIS*. Aquatic Botany. 73: 187-199.