

Estimación de Funciones de Producción de Dos Flotas que Operan en la Pesquería del Pulpo Rojo (*Octopus maya*) en la Península de Yucatán, Mediante el Uso de Modelos Lineales Generalizados

EDGAR TORRES-IRINEO, SILVIA SALAS, JORGE MONTERO-MUÑOZ, y MIGUEL A. CABRERA
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida.
Km 6 Antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, México

RESUMEN

El pulpo constituye una de los principales recursos pesqueros en la Península de Yucatán, sobre éste se ejerce un esfuerzo pesquero de tres flotas (mayor, mediana y menor), por lo que es necesario conocer los factores que se encuentran asociados a la captura del cefalópodo dada la participación de estas flotas. El presente trabajo se centró en identificar diferencias en el uso de modelos lineales generalizados (MLG) para la obtención de funciones de producción, utilizando como caso de estudio al pulpo rojo (*Octopus maya*) capturado en la Península de Yucatán. Se recolectaron datos provenientes de las flotas menor y mediana en cuatro puertos durante la temporada de pesca 2007 al momento del desembarco. Para estimar la función de producción de cada flota, se evaluaron diferentes funciones de distribución probabilística y funciones vínculo empleando el Criterio de Información de Akaike, así como un análisis de residuos para la selección de los modelos más robustos. Del análisis se derivó que la distribución Gamma y vínculo Log generaron el modelo de mejor ajuste para ambas flotas, identificando los factores que mejor explican la variabilidad en las capturas. Los factores que resultaron significativos para la flota menor fueron: distancia (km), número de tripulantes y tiempo de pesca (h). En la flota mediana estos factores incluyeron: la profundidad (m), velocidad del viento (km/h) y tiempo de pesca (h). Se discute sobre las bondades y debilidades de los métodos empleados, así como los resultados relativos a los factores que explican la variabilidad en las capturas y las implicaciones de los resultados en el manejo de la pesquería.

PALABRAS CLAVES: *O. maya*, funciones de producción, modelos lineales generalizados, residuales

Production Functions of Two Fleets Operating in the Red Octopus Fishery of the Yucatan Peninsula through the Use of Generalized Linear Models

Octopus is one of the most important fishing resources of the Yucatan Peninsula; three fleets target this resource (commercial, medium-size and artisanal fleets), furthermore, it is necessary to identify the factors associated with catches of this cephalopod given the participation of all fleets on the fishery. In this paper we use Generalized Linear Models (GLM) to obtain production functions, having as a case study the red octopus (*Octopus maya*) fishery of the Yucatan Peninsula. We collected data from the artisanal and medium-size fleet during the 2007 octopus fishing season. To estimate the production functions of each fleet we evaluated different probability functions and link functions. We used the Akaike information criterion and the analysis of residuals to select the model of best fit. The analysis showed that Gamma distribution and the link function Log fit best the model for the case of both fleets, so that the factors that explain catch variability were obtained. The factors that were significant in the case of artisanal fleet were: distance (km), crew size, and fishing time (h). In the case of medium-size fleet the factors were: depth (m), wind speed (km/h) and fishing time (h). We discuss regarding advantages and disadvantages of the methods employed. We also discuss about the relevance of the factors identified as those explaining catch variability and the management implications of the results from this study.

KEY WORDS: *O. maya*, production function, generalized linear models, residuals

Courbes de Production de Deux Flottes de Pêche Operant dans la Pêche de la Pieuvre Rouge dans la Péninsule du Yucatán au Travers de L'utilisation des Modeles Mathematiques Appelés Modele Linéaire Général

La pieuvre est l'une des plus importantes ressources de pêche dans la Péninsule du Yucatán, elle est exploitée par trois types de flottes de pêche (commercial, intermédiaire et artisanal). Il est donc nécessaire d'identifier les facteurs associés à la capture du mollusque en tenant compte de la part imputable à chaque type de flotte dans la pêche. Dans cet article, nous avons utilisé un modèle mathématique appelé Modèle Linéaire Général (MLG) afin d'obtenir les courbes de productions en utilisant comme modèle de pêche celle de la pieuvre rouge (*Octopus maya*) de la Péninsule du Yucatán. Lors de la campagne de pêche de 2007, nous avons collecté les données obtenues des flottes de pêche de type intermédiaire et artisanal. Afin d'estimer les courbes de productions de chaque flotte de pêche, nous avons appliqué différents test de probabilité et de liens de fonctions. Nous avons utilisé les informations issues de l'application du critère Akaike et de l'analyse résiduelle pour sélectionner le modèle mathématique le plus adapté. L'analyse a montré que la distribution Gamma et le logarithme décimal du lien de fonction sont des modèles qui conviennent le mieux pour exploiter les données obtenues par ces 2 catégories de flotte de pêche, et pour extraire des facteurs qui expliquent la variabilité du taux de capture de la pieuvre rouge. Les facteurs significatifs pour la flotte de pêche artisanale sont la distance (km), la taille de l'équipage et le temps de pêche (heure), alors que pour la flotte de pêche de type intermédiaire, les facteurs sont la profondeur de pêche (m), la vitesse du vent (km/h), et le temps de pêche (heure). Notre discussion portera sur les avantages et désavantages des méthodes de pêche employées ainsi que sur la pertinence des facteurs identifiés pour expliquer la variabilité du taux de capture de la pieuvre rouge. Nous discuterons également de l'implication de ces résultats dans la gestion de la ressource.

MOTS CLÉS: *O. maya*, pieuvre rouge, Modèle Linéaire Général, Yucatán

INTRODUCCIÓN

La teoría económica agrega elementos a las funciones de producción, para representar los factores que intervienen en la producción de un recurso pesquero. Éstas asumen entradas y salidas a un tiempo dado usando la tecnología existente. Las entradas son: servicios productivos, materiales y fuerzas usadas en los procesos de producción (Anderson 1986, Curtis y Howard 1993, Zugarramurdi *et al.* 1998). En el caso de la pesca, dichas entradas pueden ser tiempo efectivo de pesca, profundidad de pesca, composición de la captura, clima, arte de pesca, experiencia de los pescadores, etc. (Anderson 1986, Arceo y Seijo 1991, Gaertner *et al.* 1999, Pet-Soede *et al.* 2001, Maynou *et al.* 2003). Las salidas son los bienes y servicios resultantes del proceso de producción, el cual puede ser considerado como la suma de materiales físicos y fuerzas (Curtis y Howard 1993). Estas salidas pueden ser la captura total de un recurso pesquero o las utilidades obtenidas de dicha captura (Anderson 1986, Zugarramurdi *et al.* 1998).

La búsqueda de asociaciones entre la abundancia de un recurso pesquero, variables biológicas y variables ambientales, frecuentemente utilizan la técnica de regresión lineal múltiple (Xiao *et al.* 2004). En adición a la linealidad, la regresión lineal múltiple asume que los términos del error se distribuyen normalmente, que las observaciones son independientes, que hay ausencia de multi-colinearidad y las unidades en las que sean medidas las variables puede afectar la estimación de los coeficientes de regresión. Por esta razón, se requiere de métodos que puedan modelar datos que no están normalmente distribuidos, ya que la mayoría de los datos necesarios para la modelación pesquera no cumplen con estas condiciones (Xiao *et al.* 2004). Se han desarrollado diversos métodos en el campo de la estadística en los últimos años para modelar las funciones empíricas y han encontrado una aplicación diversa en la modelación cuantitativa de las pesquerías. Los métodos incluyen modelos lineales generalizados

(MLG), modelos aditivos generalizados (MAG), estimación de ecuaciones generalizadas (EEG), modelos lineales mixtos generalizados (MLMG), modelos no lineales, modelos estado-espacio y modelos espaciales (Xiao *et al.* 2004).

Como caso de estudio se trabajó con la pesquería del pulpo rojo (*Octopus maya*). Ésta es una especie endémica de la Península de Yucatán y representa uno de los recursos pesqueros más importantes del país (sexto sitio en términos económicos) y el primero en el Estado de Yucatán (SAGARPA 2005, Mexicano-Cíntora *et al.* 2007). En esta pesquería se emplea sólo un método de pesca (gareteo), aunque en algunos puertos se llega a capturar pulpo mediante el buceo- método prohibido y nocivo para la especie- y existen tres flotas pesqueras (industrial, mediana, artesanal), que tienen acceso a diferentes componentes de la población. Los barcos que componen las flotas son muy heterogéneos en tamaño, capacidad de bodega, poder de pesca y equipamiento, a pesar de ello los permisos de pesca se otorgan considerando como unidad de esfuerzo la embarcación. Bajo estas condiciones, es difícil definir cuál es el esfuerzo pesquero efectivo ejercido sobre el recurso. En este sentido, se han realizado estudios sobre biología pesquera de *O. maya* (Solís-Ramírez y Chávez 1986, Arreguín-Sánchez 2000, Solana *et al.* 2002, Pérez *et al.* 2006), sin embargo, no se han evaluado los factores que pueden influir en la captura de este cefalópodo, lo cual hace difícil predecir la asignación del esfuerzo efectivo de pesca.

Si bien en Yucatán existen diferentes estudios con el objeto de identificar los factores que intervienen en la captura de diferentes recursos pesqueros (Cabrera y Salas 1992, Cabrera y Defeo 2001, Salas y Gaertner 2004, Salas *et al.* 2004) a la fecha no hay reportes en el tema con relación a la pesquería del pulpo *O. maya*. De esta manera, el conocimiento de los factores que influyen en la captura puede ayudar a entender los patrones de pesca en lugar de

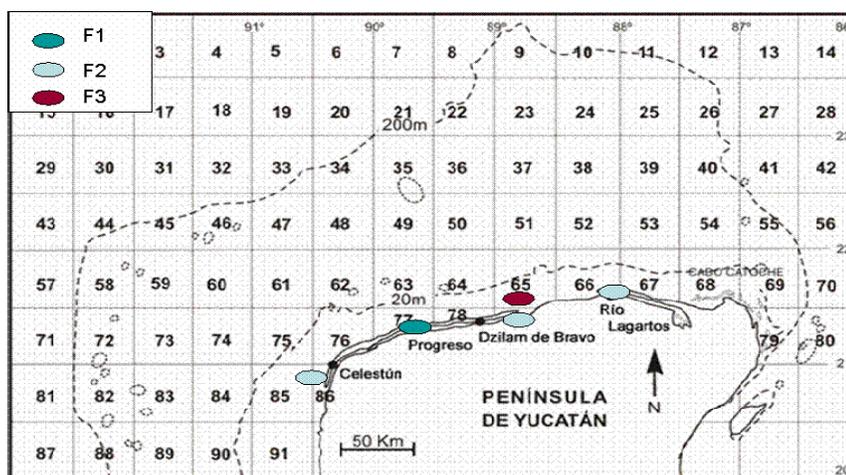


Figura 1. Península de Yucatán, dividida en cuadros de 30' de longitud oeste y latitud norte, donde se ubican los puertos donde fue colectada la información: Celestún, Progreso, Dzilam de Bravo y Río Lagartos. Las flotas que operan en las diferentes áreas están identificadas como: (F1) Flota mayor; (F2) Flota menor; y (F3) Flota mediana.

asumir el esfuerzo de pesca como un agregado de diferentes componentes.

En el presente trabajo, se utilizan los MLG como método de estimación de la función de producción. Se analizan datos de captura y esfuerzo de la temporada de pesca de pulpo 2007 en Yucatán, México, a fin de definir los factores que intervienen en la captura de pulpo *O. maya* resaltando el uso del método como una herramienta de mayor utilidad que la regresión lineal múltiple para este caso.

MÉTODOS

Fuentes de Información

Este trabajo se enmarcó dentro del proyecto “Plan de manejo y operación del comité de administración pesquera de escama y pulpo”. Los muestreos se realizaron en cuatro puertos pesqueros: Celestún, Progreso, Dzilam de Bravo y Río Lagartos (Figura 1). Los puertos fueron seleccionados tratando de tener una cobertura geográfica (oriente, poniente y norte de la costa yucateca) y representatividad de las tres flotas involucradas en las capturas de pulpo.

Los datos fueron obtenidos mensualmente mediante un muestreo aleatorio estratificado por puerto y flota, usando entrevistas dirigidas a los capitanes de embarcaciones al momento de la descarga. La información obtenida comprendió registros por viaje de pesca de: captura (kg), profundidad de pesca (m), distancia al área de pesca (km), tiempo de viaje (h), velocidad del viento (km/h), número de tripulantes, número de alijos, número de jimbos, número de líneas, costos de viaje (\$) tal como alimentos, combustible (\$) y aceite (\$). Esta información se complementó con información sobre el precio de compra al pescador, y se estimaron las cuasi-utilidades por viaje de pesca substrayendo los costos del valor de la captura (\$).

Dado que la información disponible para la flota mayor con respecto a la captura de pulpo rojo fue muy limitada, solamente se estimaron las funciones de producción para las flotas menor y de mediana altura. La información de la flota menor fue obtenida de 47 embarcaciones, mientras que la flota mediana fue de 17.

Funciones de Producción

Para este estudio se seleccionó los MLG, los cuales son una técnica estadística que incluyen como casos especiales, modelos lineales Gaussiano (ANOVA, regresión), modelos lineales logarítmicos para datos de frecuencia, modelos de regresión logística y muchos otros (McCullagh y Nelder 1989, Dick 2004). Estos modelos requieren: a) elegir una variable respuesta, b) elegir una distribución probabilística para la variable respuesta (por ejemplo: normal, exponencial, Poisson, binomial, gamma), c) elegir una función vínculo apropiada a la distribución y d) elegir un grupo de variables explicativas (McCullagh y Nelder 1989, Maunder y Punt 2004).

En el caso de los MLG, la función de producción

elegida quedó definida de la siguiente forma quedando como variable de respuesta la captura (C):

$$C = \sum x_j \beta_j + \varepsilon = \eta + \varepsilon \quad (1)$$

Donde: $X_j \beta_j$ son análogos a los que intervienen en la regresión lineal múltiple (RLM), mientras que la distribución de C depende de las variables explicativas a través de

una función de predicción lineal η , donde $\eta = \sum_{j=1}^p x_j \beta_j$.

En general, las X_j son funciones conocidas de las variables explicativas y no necesariamente las variables mismas. Estos modelos utilizan una función vínculo que relaciona la media con el pronosticador lineal, función que dependerá de la distribución de la variable respuesta (McCullagh y Nelder 1989, Maunder y Punt 2004, Venables y Dichmont 2004). Finalmente ε es el término del error.

Aunque la función vínculo es en algún sentido similar a transformar una variable, sólo establece una conexión matemática entre parámetros. La transformación generalmente es utilizada para estabilizar la varianza (Venables y Dichmont 2004). Además, relaciones no lineales entre las variables independientes y la dependiente puede ser incluido en los MLG por medio de estas funciones vínculo (Maunder y Punt 2004).

La selección de una distribución estadística para la variable respuesta debe tomar en cuenta el tipo de datos a ser modelados. Por ejemplo, una distribución discreta, tal como la Poisson o la negativa binomial, pueden ser la distribución más apropiada si la captura es registrada en número de individuos. Sin embargo, una distribución probabilística continua como la Gamma puede ser más apropiada si la captura está en peso (Maunder y Punt 2004).

Por la naturaleza de los datos de captura, que sólo pueden tomar valores positivos las distribuciones que se compararon con diferentes funciones vínculo fueron la Gaussiana y Gamma, si bien la primera contempla valores positivos y negativos es la distribución utilizada en la RLM.

En la estimación de la función de producción se utilizó la captura de pulpo como variable dependiente y las variables independientes incluyeron: profundidad de pesca (m), distancia al área de pesca (km), tiempo de viaje (h), velocidad del viento (km/h), número de tripulantes y costos del viaje (\$).

La selección del modelo de mejor ajuste, se siguió conforme a lo sugerido por Zuur *et al.* (2007). El primer paso fue realizar un análisis exploratorio de las variables, revisión de ocurrencia de valores atípicos, distribución de las variables analizadas, relaciones no lineales y colinearidad de variables explicativas. El segundo paso consistió en seleccionar el grupo de variables para conformar los modelos posibles a partir de la matriz de correlaciones. A partir de este grupo de modelos, se procedió a seleccionar el MLG con la más apropiada combinación de variables

explicativas y sus interacciones. Este paso concluyó cuando se tuvo un modelo seleccionado por el criterio de información de Akaike (CIA). El tercer paso se procedió a revisar los supuestos para validar el modelo, como la distribución de residuos, independencia de observaciones (o residuos) y el comportamiento de la varianza.

RESULTADOS

En ocasiones se asume que la relación entre las variables explicativas y la variable de respuesta son lineales y se aplican directamente las regresiones lineales múltiples. Al asumir esta condición y hacer uso de la RLM como el medio para determinar qué variables son significativas se puede dejar de lado variables que pueden aportar un porcentaje en la explicación de la varianza asociada a la captura. Por otro lado, el uso de los MLG permite considerar variables discretas, e incluso el supuesto de la normalidad no es necesario que se cumpla, lo que permite que aún variables que no tengan una relación lineal con la variable respuesta puedan ser consideradas en el análisis. La aplicación de este método en el caso de la pesquería de pulpo permitió ejemplificar la utilidad de este método estadístico.

Flota Menor

El análisis exploratorio de las variables mostró que la distancia y la profundidad presentaron colinearidad, así como el número de tripulantes con alijos, jimbas y líneas. El efecto observado en el primer caso, resultó de una relación directa entre la profundidad y la distancia dadas las características de la plataforma de la Península de Yucatán, por tanto se optó por seleccionar sólo una de estas variables para no afectar los resultados del modelo, el criterio de elección fue aquella que presentara el mayor valor de correlación con la captura, siendo la distancia la seleccionada. Con respecto al segundo grupo de variables, el número de tripulantes presentó el mayor valor de correlación con la captura por lo que las otras variables no fueron consideradas.

De esta manera, con la matriz de correlación se

Tabla 1. Selección de la distribución probabilística y función vínculo utilizando el Criterio de Información de Akaike (CIA) para la obtención del modelo de mejor ajuste. (Modelo: Distancia + Tiempo de pesca + Tripulantes + Cos-

Distribución-Vínculo	Desviación de residuos	gl	CIA
Gaussiana-identidad	10910	42	401.40
Gaussiana-Log	10120	42	397.87
Gaussiana-inversa	9580.6	42	395.30
Gamma-identidad	15.815	42	378.64
Gamma-Log	14.713	42	375.07
Gamma-inversa	15.677	42	378.21

gl, grados de libertad; CIA, Criterio de información de Akaike

obtuvo que la distancia, tiempo de pesca, número de tripulantes y los costos resultaron tener un nivel de asociación significativo ($p < 0.05$) con la captura, por lo que éstas fueron consideradas para definir qué distribución probabilística sería la adecuada para obtener los coeficientes de la función de producción.

De acuerdo con Zuur *et al.* (2007) una vez que se ha definido el grupo de variables a ser evaluadas en los MLG, primero hay que comenzar con el modelo que considere todas las variables y aplicando una RLM y después ir cambiando el tipo de función vínculo y distribución probabilística. Cabe aclarar que no se consideró utilizar distribuciones como la Poisson o Binomial porque los datos de captura fueron continuos y positivos.

Al comparar la distribución probabilística Gaussiana y Gamma con las diferentes funciones vínculo, el menor valor del CIA fue obtenido con la distribución Gamma y vínculo Log (Tabla 1).

Una forma de validar los resultados ofrecidos por los MLG es mediante la observación de los residuos. De esta manera, se puede evaluar la homogeneidad de varianzas, la normalidad y la independencia de los datos (Zuur *et al.* 2007).

El análisis de residuos realizado para las diferentes distribuciones y funciones vínculo dio como resultado que para el uso de la distribución Gaussiana y vínculo identidad (Regresión Lineal Múltiple), los datos no presentaron homogeneidad de varianzas y no fueron normales, violando los supuestos del método (Figura 2a). Al observar los residuos de la misma distribución Gaussiana utilizando la función vínculo log (Figura 2b) e inversa (Figura 2c) se encontró que tampoco se cumplió con el supuesto de homogeneidad de varianzas mostrando un patrón de cono y tampoco se presentaba normalidad.

Respecto a los residuos utilizando la distribución Gamma (Figura 2d, 2e y 2f), con las tres funciones vínculo se cumplió con los supuestos de homogeneidad de varianzas, así como con la normalidad, también fueron independientes y no presentaron valores altos en las distancias de Cook, cuyos valores se recomienda no sean mayores a uno (Zuur *et al.* 2007). En este caso, el siguiente criterio en la elección del modelo de mejor ajuste fue con el valor de CIA, donde el menor valor de éste fue con la

Tabla 2. Coeficientes de regresión del modelo de mejor ajuste obtenido con distribución Gamma y función vínculo Log para la captura de pulpo obtenida por la flota menor. E.e = error estándar.

	Coefficiente regresión	E. e	t	p
Intercepto	0.517711	0.573	0.903	0.371
Distancia	0.016083	0.007	2.449	0.019
Tripulación	0.334747	0.139	2.408	0.020
Tiempo pesca	0.206752	0.064	3.247	0.002

t, distribución de t; $p = 0.05$

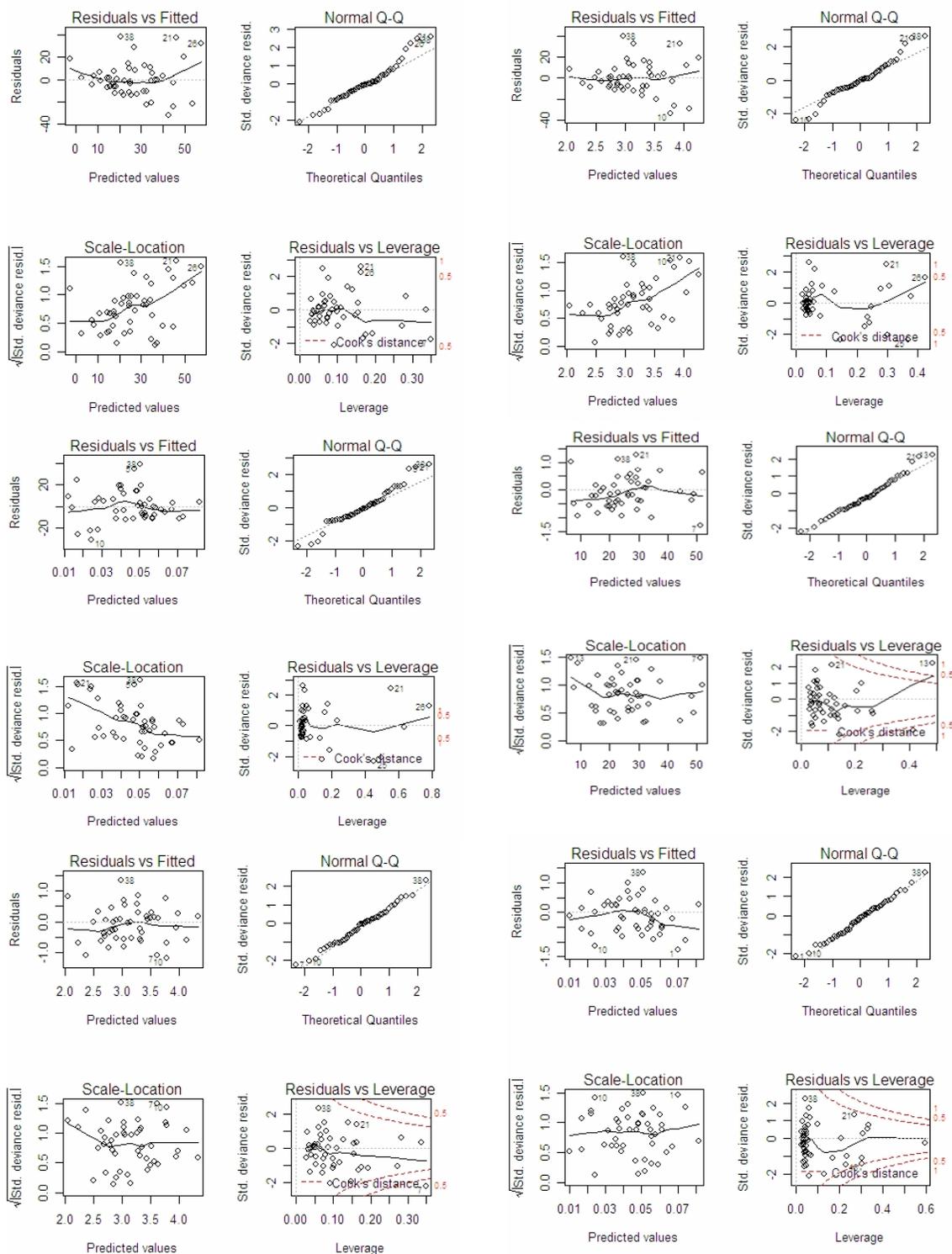


Figura 2. Análisis de residuos de las diferentes distribuciones probabilísticas y funciones vínculo. Distribución Gaussiana, vínculo Identidad (a), Gaussiana, Log (b), Gaussiana, Inversa (c), Gamma, Identidad (d), Gamma, Log (e), Gamma, Inversa

función vínculo log (CIA = 375.07). En la tabla 1 se presentan los resultados de este criterio para las diferentes combinaciones.

De esta manera, en el modelo se evaluaron las variables significativas ($p < 0.05$): distancia, número de tripulantes y el tiempo de pesca, esto fue validado con el

Tabla 3. Cuadro de ANOVA del modelo de mejor ajuste con distribución Gamma y función vínculo Log para la captura de pulpo por la flota menor.

	Desviación	gl	Desviación de residuos	Varianza explicada	Varianza explicada acumulada	F	p
Nulo		46	25.7829				
Distancia	5.11	45	20.6714	0.198	0.198	14.35	0.0005
Tripulantes	1.93	44	18.7403	0.142	0.340	5.42	0.0300
Tiempo pesca	3.66	43	15.0773	0.075	0.415	10.28	0.0030

gl, grados de libertad; F, distribución de F; p = 0.05

ANOVA del modelo.

El nuevo grupo de variables fue evaluado con la distribución Gamma y vínculo Log para definir los coeficientes del modelo (Tabla 2). El valor de CIA de este modelo fue de 374.23. Al validar el modelo con su ANOVA (Tabla 3), se obtuvo que las variables consideradas fueron significativas (p = 0.05). Además se cumplió con todos los supuestos del modelo.

A partir de los coeficientes de regresión de la Tabla 2, el modelo de mejor ajuste quedó representado por la siguiente ecuación:

$$C = \exp^{(0.517711+0.016083*D+0.334747*T+0.206752*TP)} \quad (2)$$

Donde, **C**= captura de pulpo, **D**= distancia (km), **T**= número de tripulantes y **TP**= tiempo de pesca.

El ajuste que realizó el modelo se puede observar en la Figura 3a, el cual presentó mayor dispersión. Cabe mencionar que las tres variables explicaron el 41% de la varianza asociada a la captura (Tabla 3), lo cual implica que hay variables que no fueron consideradas en este trabajo y que contribuyen a explicar la varianza, estas variables pueden incluir factores no considerados en el análisis. En cuanto a los residuos, éstos presentaron homogeneidad de varianzas, normalidad, fueron independientes y no presentaron valores altos en las distancias de Cook (Figura 3b).

Flota Mediana

Al realizar el análisis exploratorio de los datos correspondientes a la flota mediana a fin de seleccionar las variables que pudieran contribuir a la función de producción, se encontró que la distancia y la profundidad presentaron efectos de colinearidad, como se dio en el caso de la flota menor. El número de tripulantes tuvo el mismo efecto cuando se consideraron el número de alijos, jimbas y líneas, en este caso, sin embargo, ninguna de estas variables presentó un nivel de asociación con la captura. De lo anterior, la profundidad presentó una correlación más alta con la captura que la distancia. Finalmente las variables seleccionadas fueron la profundidad, velocidad del viento, el tiempo de pesca y los costos.

La función de producción para la flota mediana fue obtenida con el mismo procedimiento utilizado para analizar los datos de la flota menor, por lo que aquí sólo se presentará el modelo de mejor ajuste, así como su validación por medio de los residuos y su ANOVA.

La distribución probabilística y función vínculo elegidas en este caso fueron las mismas que en la flota menor (Gamma-Log), presentando por tanto para la flota mediana un valor de CIA de 204.4 para el modelo elegido. De las variables explicativas inicialmente consideradas, los costos resultaron no significativos, por lo que esta variable no fue elegida para obtener los coeficientes de regresión.

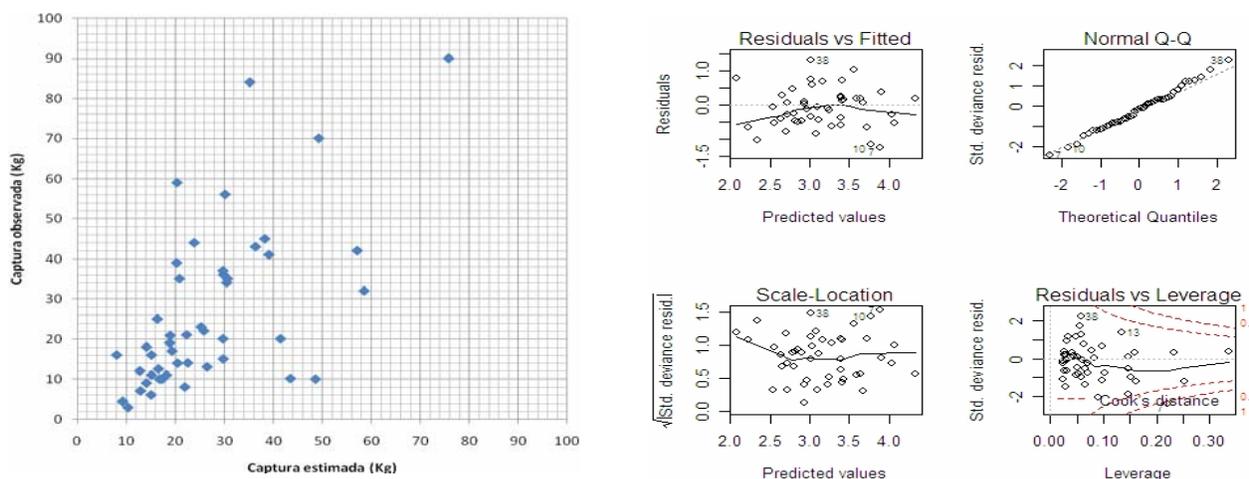


Figura 3. Ajuste del modelo seleccionado para la flota menor con la distribución Gamma y vínculo Log (a), residuos del modelo seleccionado (b).

Tabla 4. Coeficientes de regresión del modelo de mejor ajuste obtenido con distribución Gamma y función vínculo Log para la captura de pulpo obtenida por la flota mediana.

	Coefficiente regresión	E.e.	t	p
Intercepto	-1.619733	1.145	-1.42	0.1806
Profundidad	0.111683	0.024	4.74	0.0004
Viento	0.346044	0.092	3.78	0.0023
Tiempo pesca	0.013129	0.004	3.26	0.0062

t, distribución de t; p = 0.05

De esta manera, el nuevo grupo de variables fue evaluado con la distribución Gamma y vínculo Log para definir los coeficientes del modelo (Tabla 4). El valor de CIA de este modelo fue de 202.92. Así mismo, las variables consideradas fueron significativas ($p < 0.05$) como lo demostró el análisis de ANOVA (Tabla 5). Los resultados se consideran robustos dado que cumplieron con la mayoría de los su-

$$C = \exp(-1.619733 + 0.111683 * P + 0.346044 * W + 0.013129 * TP)$$

puestos del modelo, salvo en el caso de la normalidad, sin embargo, de acuerdo a Zuur *et al.* (2007) esto no penaliza al modelo tanto como el hecho de no presentar homogeneidad de varianzas o independencia (Figura 4b).

A partir de los coeficientes de regresión mostrados en la Tabla 4, el modelo de mejor ajuste quedó representado por la siguiente ecuación:

Donde, C = captura de pulpo, P = profundidad (m), W = velocidad del viento y TP = tiempo de pesca.

Es de resaltar que las variables de este modelo explicaron el 80% de la varianza asociada a la captura

(Tabla 5), porcentaje alto, además, el viento explicó casi el 50% de la varianza. El ajuste que realizó el modelo se puede observar en la Figura 4a, el cual fue mejor que el realizado por el modelo de la flota menor. En cuanto a los residuos, éstos presentaron homogeneidad de varianzas, fueron independientes y no presentaron valores altos en las distancias de Cook, sin embargo, tampoco se cumplió con la normalidad (Figura 4b).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A la fecha no existen antecedentes de trabajos dirigidos en esta línea sobre la pesquería del pulpo en Yucatán. Lo anterior es relevante dadas las recientes tendencias decrecientes de la captura del pulpo en la región, especialmente si se considera que es una especie endémica y la primera en volumen y valor en la Península.

Es evidente que de haber seleccionado como método de análisis el método tradicional (RLM) para obtener las funciones de producción, se hubieran generado modelos que hubieran dejado de lado variables que pudieran resultar importantes en la explicación de la varianza asociada a la captura, por el hecho de no cumplir con los supuestos del modelo. Lo anterior es porque los datos de variables aleatorias que no provienen de diseños experimentales muchas veces se enfrentan a problemas referidos a la relación entre la media y la varianza. El principal problema entre estos estadísticos consiste en que no son constantes e independientes en el vector de datos. La falta de simetría, debido a patrones de agregación en los datos reduce fuertemente la posibilidad de utilizar herramientas estadísticas paramétricas. Una posible solución a este problema es el uso de transformaciones donde a cada dato se le aplica un escalar con el objetivo de corregir el sesgo en la distribución inducido por el patrón de dispersión. Sin embargo, esta práctica puede ser peligrosa y elevar el porcentaje de error tipo I en el resultado de una prueba,

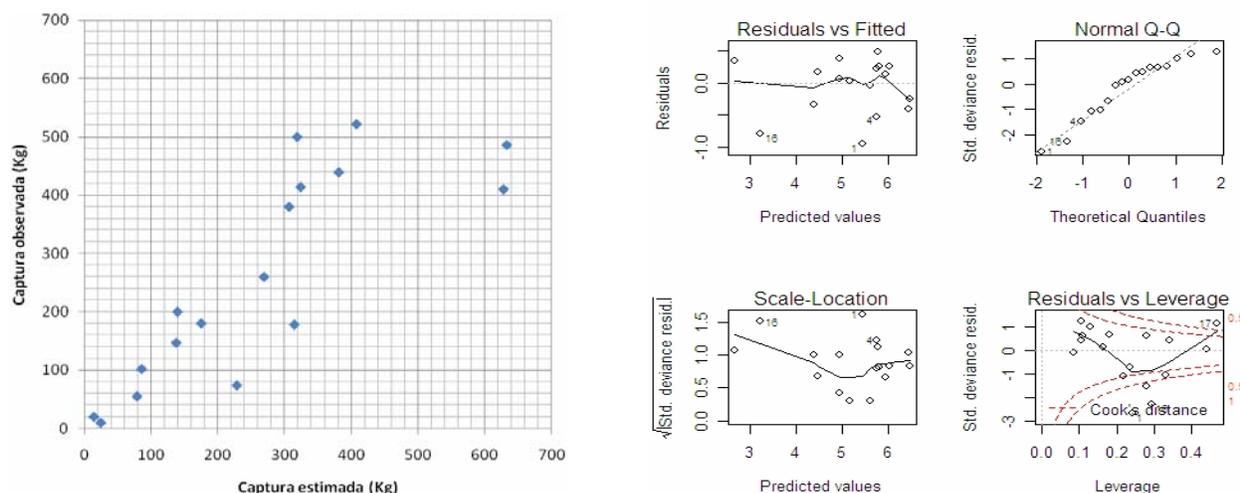


Figura 4. Ajuste del modelo seleccionado para la flota mediana con la distribución Gamma y vínculo Log (a), residuos del modelo seleccionado (b).

Tabla 5. Cuadro de ANOVA del modelo de mejor ajuste con distribución Gamma y función vínculo Log para la captura de pulpo por la flota mediana.

	Desviación	gl	Desviación de residuos	Varianza explicada	Varianza explicada acumulada	F	p
Nulo		16	14.36				
Viento	7.15	14	4.33	0.498	0.498	42.08	0.00002
Profundidad	2.88	15	11.48	0.201	0.699	16.94	0.00122
Tiempo pesca	1.45	13	2.88	0.101	0.800	8.50	0.01204

gl, grados de libertad; F, distribución de F; p = 0.05

debido al efecto de la transformación sobre el modelo. Además la RLM, asume que la relación entre las variables independientes y la variable dependiente es lineal, con media y varianza constante (bajo nivel de dispersión) y ausencia de colinearidad. Estos supuestos son por mucho, demasiado exigentes de cumplir por variables no experimentales, a pesar de esto, el uso y abuso de esta técnica es una práctica popular entre los investigadores. Dos errores son importantes de reconocer, a) asumir que las variables que entran a un sistema son lineales y b) no realizar análisis exploratorios para conocer la realidad de la relación entre la media y la varianza del vector de datos que se desea analizar.

La existencia de técnicas que involucran parámetros de dispersión basados en la relación entre la media y la varianza, es clave para poder analizar los datos en un contexto numérico real y no “forzar” las pruebas. Los MLG son una herramienta de análisis que pueden ser utilizadas para explorar la relación entre variables, donde la RLM falla en la detección de relaciones. Esto se debe a que los MLG pueden ser generados considerando el patrón de distribución que caracteriza a los datos de la variable dependiente, basado en una distribución de los residuales que no tiene que ser necesariamente normal. Esto es importante ya que una RML puede mostrar un bajo poder de explicación de la varianza debido a la falta de linealidad de la variable y esto puede causar el desechar variables que son importantes en el contexto de la investigación y que por una mala elección del método de análisis puede haber una mala interpretación.

En este sentido, los MLG mostraron ser útiles para el caso de estudio. Este método también ha sido aplicado a otras pesquerías en la búsqueda de funciones que permitan estandarizar datos de captura y esfuerzo (Hilborn y Walters 1992, Maunder y Punt 2004), o para determinar qué factores intervienen en la captura de un recurso (Gaertner *et al.* 1999, Pet-Soede *et al.* 2001, Maynou *et al.* 2003, Bishop *et al.* 2004, Fonseca *et al.* 2008). En casos donde se han usado la regresión lineal múltiple (Arceo y Seijo, 1991) las variables consideradas para determinar los factores que intervenían en la captura de langosta fueron de naturaleza continua.

A fin de entender los resultados obtenidos cabe caracterizar las dos flotas objeto de estudio. Así, la flota menor, no se aleja grandes distancias de la costa y de su respectivo puerto, normalmente transporta de uno a dos

alijos (embarcación pequeña, 3 m de eslora) y sus viajes son de un día. Mientras la flota mediana llega a transportar en promedio cuatro alijos, un pescador para cada uno, realiza viajes de hasta cuatro días, lo cual le permite explorar diferentes zonas en un solo viaje, llegando a trasladarse a mayores distancias que la flota menor. En el último caso, la embarcación que transporta los alijos funciona como barco nodriza, ya que el método de pesca es el mismo que en la flota menor y la unidad de operación es el alijo.

Los resultados mostraron que en el caso de la flota menor, las variables que resultaron significativas con la aplicación del MLG fueron: la distancia, el número de tripulantes y el tiempo de pesca. Estas variables resultan relevantes para los mismos pescadores ya que mencionan que al recorrer mayores distancias mejorarán su captura. Ellos igualmente mencionan que en los últimos años se ha reducido la abundancia del recurso cerca de la costa, por lo que ahora se tienen que alejar más de ésta. Por otro lado el número de pescadores está asociado al número de alijos que llevan, que es una forma de expandir el esfuerzo pesquero, ya que cada alijo cuenta con dos jimbos y con carnada que aumenta las probabilidades de encontrar y pescar el recurso. Si bien estas embarcaciones no pueden transportar un gran número de pescadores por su tamaño, algunas llegan a transportar hasta tres alijos, lo cual incrementa el área barrida por este método de pesca y por lo tanto la posibilidad de capturar más pulpo. Finalmente, el tiempo de pesca resulta importante, ya que esto define la intensidad de pesca, como en otro tipo de pesquerías artesanales (Salas y Charles En prensa). Esto resulta especialmente relevante por el método de pesca empleado, que al mantener el bote a la deriva mientras la carnada está expuesta (gareteo) por mayor tiempo aumentaría las posibilidades de encontrar el recurso a niveles rentables, asumiendo una distribución homogénea del recurso.

En cuanto a la flota mediana, los factores que influyeron en la captura de pulpo fueron: la profundidad, viento y tiempo de pesca. Estas tres variables explicaron el 80% de la varianza asociada a la captura del cefalópodo. La profundidad parece estar asociada con la captura de animales más grandes, como esta variable estuvo correlacionada con la distancia, también podría brindar acceso a campos pesqueros que la flota menor no accede. En el caso del viento se podría asociar al método de pesca que requiere de éste para desplazamiento de los alijos dando un

mayor rango de operación. Si bien los pescadores han comentado en ocasiones que el viento intenso no les permite salir a pescar, especialmente en época de nortes (vientos del norte), posterior a esos días encuentran mayores capturas, lo que asocian a un desplazamiento de los animales fuera de sus refugios en busca de alimento. Finalmente, el tiempo de pesca, como en el caso de la flota menor, al aplicar mayor número de horas a la operación de pesca con métodos de pesca no tecnificados, se aumenta la probabilidad de incrementar la captura.

Existen pocos estudios enfocados a la obtención de funciones de producción en pesquerías en Yucatán y en el caso de cefalópodos prácticamente nulas. Los trabajos reportados para otros cefalópodos sin embargo no son contrastables con los aquí obtenidos dadas las diferencias en los métodos de pesca. Así, por ejemplo, Fonseca *et al.* (2008) encontró que en la pesquería de cefalópodos de las costas de Portugal las características de la embarcación (tamaño -GP-, potencia -HP-) son factores que influyen en la variabilidad de las capturas, explicando hasta el 70% de la varianza en los datos.

A pesar de tratarse de la misma pesquería, el realizar el análisis discriminado por flotas permitió evaluar los factores que intervienen en cada una de ellas. Cabe señalar, sin embargo, que los modelos presentan ciertas limitaciones, si bien el método de los MLG permitió hacer una mejor estimación de los coeficientes para cada modelo, no significa que no haya un error asociado a la calidad de los datos donde fueron generados. En el caso de la flota menor, se observó un bajo porcentaje de explicación de la varianza asociada a la captura, lo que se vio reflejado en el ajuste realizado por el modelo. Lo anterior indica que existen otras variables que pudieran tener un impacto y no fueron consideradas en el análisis. Dado el tamaño de la flota que opera en la pesquería, el tamaño de la muestra puede resultar limitante, así, por ejemplo, en el caso de la flota mediana, aunque se presentó un alto porcentaje explicado de la varianza, el número de datos puede afectar el nivel de ajuste del modelo, ya que sólo fueron 17 casos, a diferencia de la flota menor con 47 casos.

La teoría económica predice que la declinación en el largo plazo de especies económicamente importantes en las pesquerías conducirá a que los pescadores abandonen dichas pesquerías, por lo tanto disminuirá el esfuerzo de pesca (Smith 1969). Sin embargo, en los hechos la disminución del recurso ha estado acompañada por una tendencia a que el esfuerzo de pesca se mantenga o aumente en el largo plazo. Debido a lo anterior los pescadores emplean mayor tiempo buscando la especie objetivo e invirtiendo más dinero para obtener la misma captura o menos. Otro aspecto que cambia es la asignación espacial del esfuerzo, ya que los pescadores se dirigen a zonas de pesca más alejadas. Todo lo anterior hace la pesquería menos eficiente en términos económicos y sociales, con un impacto consecuente sobre los sistemas biológicos (Salas *et al.* 2007). En general, las medidas de

manejo en las pesquerías tienden a generalizar y se relacionan más con la biología del recurso (límites de tallas, temporadas de veda), también sobre artes de pesca empleados, permisos o licencias de captura y concesiones, sin embargo, estas medidas no toman en cuenta la dinámica de los pescadores y menos las diferencias entre usuarios que trabajan con distintos métodos de pesca.

En este trabajo ha quedado claro que dada la interacción de flotas pesqueras, podría ser conveniente que la regulación de la pesquería considere los factores que definen los impactos de cada una y las condiciones fisiográficas que definen el comportamiento del recurso y las operaciones de los pescadores. Si bien este análisis sólo comprendió dos de las flotas que operan en la pesquería en Yucatán, los resultados aportados resultan interesantes y ofrecen un campo de estudio a extender, desde su aplicación a la flota mayor, así como la generación de esquemas de manejo redundantes, esto es, que incidan desde diferentes ángulos a la protección del recurso, además de la sustentabilidad social y económica de la pesquería.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los pescadores y empresarios que permitieron ser entrevistados en los puertos de Celestún, Progreso, Dzilam de Bravo y Río Lagartos. La colecta de datos y captura de información se vio apoyada por Leopoldo Palomo, Paul Ortegón, Manuel Sánchez, Enrique Bello, Laura Carrillo, Felipe Bobadilla, María Puerto y Carlos Zapata. Igualmente agradecemos a los Biol. Karin Mena y Víctor Alcantar por gestiones para el apoyo financiero a través del Gobierno del Estado de Yucatán y la CONAPESCA.

LITERATURA CITADA

- Anderson L.G. 1986. *The Economics of Fisheries Management*. Baltimore, Maryland USA. 298 pp.
- Arceo P. and J.C. Seijo. 1991. Fishing effort analysis of the small-scale spiny lobster (*Panulirus argus*) fleet of the Yucatan shelf. *FAO Fisheries Report* **431**:59-74.
- Arreguín-Sánchez, F. 2000. Octopus-red grouper interaction in the exploited ecosystem of the northern continental shelf of Yucatan, Mexico. *Ecological Modeling* **129**:119-129.
- Bishop, J., W.N. Venables, and W. You-Gan. 2004. Analysing commercial catch and effort data from a Penaeid trawl fishery. A comparison of linear models, mixed models, and generalised estimating equations approaches. *Fisheries Research* **70**:179-193.
- Cabrera, J.L. y S. Salas. 1992. Análisis del esfuerzo pesquero de la pesquería de langosta (*Panulirus argus*) en tres puertos de la Península de Yucatán. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute*: **45**:790-807.
- Cabrera, J.L. y O. Defeo. 2001. Daily bioeconomic analysis in a multispecific artisanal fishery in Yucatán, Mexico. *Aquatic Living Resources* **14**:19-28.
- Curtis M. J. y A. C. Howard. 1993. *Economics of aquaculture*. Food Products Press, New York. 319 pp.
- Dick, E.J. 2004. Beyond 'lognormal versus gamma': discrimination among error distributions for generalized linear models. *Fisheries Research* **70**:351-366.
- Fonseca T., A. Campos, M. Alfonso-Dias, P. Fonseca, and J. Pereira. 2008. Trawling for cephalopods off the Portuguese coast-Fleet dynamics and landings composition. *Fisheries Research* **92**:180-188.

- Gaertner D., M. Pagavino, and M. Jesús. 1999. Influence of fisher's behavior on the catchability of surface tuna school in the Venezuelan purse-seine fishery in the Caribbean Sea. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **56**:394-406.
- Hilborn, R. and C.J. Walters. 1992. *Quantitative Fisheries Stocks Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty*. Chapman and Hall, New York, New York USA.. 592 pp.
- Maunder M.N. and A.E. Punt. 2004. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. *Fisheries Research* **70**:141-159.
- Maynou F., M. Demestre, y P. Sánchez. 2003. Analysis of catch per unit effort by multivariate analysis and generalized linear models for deep-water crustacean fisheries off Barcelona (NW Mediterranean). *Fisheries Research* **65**:257-269.
- McCullagh, P. and J.A. Nelder. 1989. *Generalized Linear Models, 2nd Edition*. Chapman & Hall, London, England 532 pp.
- Mexicano-Cíntora, G., C.O. Leonce-Valencia, S. Salas, and Ma. E. Vega-Cendejas. 2007. Recursos pesqueros de Yucatán: Fichas técnicas y referencias bibliográficas. CINVESTAV Unidad Mérida, Yucatán, México. 140 pp.
- Pet-Soede, C., W.L.T. Van Desen, J.G. Hiddink, S. Kuyt and M.A.M. Machiels. 2001. Can fishermen allocate their fishing effort in space and time on the basis of their catch rates? An example from Spermonde Archipelago, SW Sulawesi, Indonesia. *Fisheries Management and Ecology* **8**:15-36.
- Salas, S. and D. Gaertner. 2004. The behavioural dynamics of fishers: management implications. *Fish and Fisheries*. **5**:153-167.
- Salas, S., U.R. Sumalia, and T. Pitcher. 2004. Short-term decisions of small-scale fishers selecting alternative target species: a choice model. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **61**:374-383.
- Salas, S., R. Chuenpagdee, J.C. Seijo, and A. Charles. 2007. Challenges in the assessment and management of small-scale fisheries in Latin America and the Caribbean. *Fisheries Research* **87**:5-16.
- Salas, S. y A. Charles. 2008. Are small-scale fishers profit maximizers?: exploring fishing performance of small scale fishers and factors determining catch rates. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* **60**:116-124.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2005. *Anuario estadístico de pesca. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA)*. México. 220 pp.
- Smith, V.L. 1969. On models of commercial fishing. *Journal of Political Economics* **77**:181-198.
- Solís-Ramírez, M.J. y E.A. Chávez. 1986. Evaluación y régimen óptimo de pesca del pulpo de la Península de Yucatán. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM*. México. **13**:1-18.
- Venables, W.N. and C.M. Dichmont. 2004. GLMs, GAMs and GLMMs: an overview of theory for applications in fisheries research. *Fisheries Research* **70**:319-337.
- Xiao, Y., R.B. Millar, and T.J. Quinn, II. 2004. Models in fisheries research: GLMs, GAMs and GLMMs. *Fisheries Research* **70**:137-139.
- Zugarramurdi, A., M.A. Parín, y H.M. Lupin. 1998. *Ingeniería Económica Aplicada a la Industria Pesquera*. FAO Documento técnico. **351**.
- Zuur, A.F., E.N. Ieno, And G.M. Smith. 2007. *Analysing Ecological Data. Series: Statistics for Biology and Health*. Springer, Cambridge, England 672 pp.