

## Analysis of the fishing effort of the Mexican longline tuna fleet operating in the Gulf of Mexico in 2004

### Análisis del esfuerzo pesquero con palangre de la flota atunera mexicana del Golfo de México durante 2004

K Xolaltenco-Coyotl<sup>1</sup>, MJ Dreyfus-León<sup>1,2\*</sup>, E Almanza-Heredia<sup>1</sup>, JAE Almanza-Heredia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Km 103 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, CP 22860, México.

<sup>2</sup> Instituto Nacional de la Pesca, Ensenada, Baja California, México. \*E-mail: dreyfus@cicese.mx

**ABSTRACT.** The Gulf of Mexico yellowfin tuna (YFT) longline fishing effort for 2004 was analyzed. The data used to describe the longline characteristics and estimate the catch efficiency of the vessels (catch in number of organisms per trip) were obtained from fishing reports made by onboard scientific observers from the Mexican Tuna Exploitation and Dolphin Protection Program, covering 100% of the trips. To compare the catch per trip and determine the main aspects influencing it, generalized linear models were applied. To explain differences in efficiency, the following explanatory variables were considered: *boat, bait, equipment, area, trimester, type of hook, number of hooks, temperature, longline total length, gangion length, trip duration (number of days), number of sets per trip, gear deployment time, longline soaking time, and hauling time*. The model explained 57.5% of the variability of the catch. The variables that had the greatest influence on efficiency were *boat, bait, trimester, equipment, number of sets per trip, and trip duration*. The variable *boat* was the most important, suggesting that the Mexican YFT fleet operating in the Gulf of Mexico could be heterogeneous. This variable may include the experience of the captain and/or crew, boat age, motor characteristics and maintenance, or even crew comfort. The results should be considered preliminary since only one year was analyzed.

*Key words:* longline, tuna fishery, generalized linear models, Gulf of Mexico.

**RESUMEN.** Se analizó el esfuerzo pesquero con palangre de la flota de atún aleta amarilla (AAA) del Golfo de México durante 2004. Los datos para describir las características del palangre empleado y estimar la eficiencia de la captura de las embarcaciones (captura en número de organismos por viaje), fueron obtenidos de los informes de pesca de AAA recopilados por observadores científicos abordo del Programa Nacional para el Aprovechamiento del Atún y Protección al Delfín, cubriendo el 100% de los viajes. Para comparar la captura por viaje y determinar los principales factores que influyen en ella se recurrió a los modelos lineales generalizados. Para explicar las diferencias en la eficiencia, se consideraron las siguientes variables explicativas: *barco, carnada, equipo, área, trimestre, tipo de anzuelo, temperatura, número de anzuelos calados, longitud total del palangre, longitud reinal, duración del viaje (número de días), número de lances por viaje, horas de calado, horas de reposo y horas de cobrado*. El modelo explicó 57.5% de la variabilidad de la captura. Se observó que las variables que tuvieron mayor influencia sobre la eficiencia son *barco, carnada, trimestre, equipo, número de lances por viaje y duración del viaje*. La variable *barco* fue la más importante, lo que sugiere que la flota mexicana de AAA en el Golfo de México podría ser heterogénea. Dicha variable puede incluir la experiencia del capitán y/o la de la tripulación, antigüedad del barco, características del motor y mantenimiento del mismo o hasta comodidad de los tripulantes. Los resultados deben considerarse como preliminares debido a que se analizó un solo año.

*Palabras clave:* palangre, pesca de atún, modelos lineales generalizados, Golfo de México.

## INTRODUCTION

Tuna species are economically important and a significant source of food. The global production of tuna has increased constantly from less than 0.6 million tons in 1950 to nearly 4 million tons in 2007 (FAO 2009). The principal market tuna species are caught primarily in the Pacific Ocean (69.0% of the total catch of the main commercial species in 2007), secondly in the Indian Ocean (21.7% in 2007), and lastly in the Atlantic Ocean and Mediterranean Sea (9.5% combined, in 2007) (FAO 2009).

The so-called commercial tuna species are: skipjack (*Katsuwonus pelamis*), yellowfin (*Thunnus albacares*), big-eye (*Thunnus obesus*), albacore (*Thunnus alalunga*), northern bluefin (*Thunnus thynnus*), southern bluefin (*Thunnus*

## INTRODUCCIÓN

La pesquería de atún tiene una gran importancia económica y es una fuente significativa de alimentos. La producción mundial de las especies de atún ha crecido constantemente desde menos de 0.6 millones de toneladas en 1950 hasta casi 4 millones de toneladas en 2007 (FAO 2009). La mayoría de las capturas de las principales especies comerciales de atún se llevan a cabo en el Pacífico (69.0% del total de la captura de las principales especies comerciales en 2007), seguido del Océano Índico (21.7% en 2007), y por último en el Océano Atlántico y el Mar Mediterráneo (9.5% conjuntamente en 2007) (FAO 2009).

Las denominadas especies comerciales son: barrilete (*Katsuwonus pelamis*), aleta amarilla (*Thunnus albacares*),

*maccoyi*), and Pacific bluefin (*Thunnus orientalis*). The yellowfin tuna (YFT) is the second most important tunnid species in the fishing industry worldwide, comprising approximately 24% of the total catch of commercial species. This species is fully exploited in the Atlantic Ocean (FAO 2009).

Different types of fishing gear are used for catching tunnids, including longlines, pole and line, and purse seine nets. Their use varies depending on the target market. Longlines are used for the raw product market (sashimi and sushi), pole and line for the fresh or canned tuna market, and purse seine nets for the canned tuna market or to obtain tuna for grow-out purposes. Longlines are responsible for 30% of the global catch, including most of the landings of billfish like marlin, swordfish, and sailfish (Sosa-Nishizaki *et al.* 2001).

In the Gulf of Mexico, the American type drifting longline is employed (INE 2000). It consists of a 4-mm diameter nylon monofilament mainline with a mean length of 63 km and gangions (branchlines) with a mean length of 35 fathoms. It is frequently used in the open sea but also in nearshore areas. This fishing gear accounts for landings consisting of more than 50% (relative to weight or number) of YFT (INP 2000a), which in 2004 ranged in size from 21.6 to 184.4 cm fork length (FL), with 74.7% between 128.4 and 139.6 cm FL.

Compared with other longline YFT landings, the Mexican fishery obtained 15.67% (1208 t) of the Gulf of Mexico catches and 4.67% of the total Atlantic catches, estimated at 25,859 t, according to the International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT 2004).

In 2004, the Mexican tuna fleet operating in the Gulf of Mexico consisted of 32 vessels, distributed primarily in Tuxpan (Veracruz, 81.4%), followed by Yucaltepen (Yucatán, 8.8%), Alvarado (Veracruz, 8.3%), Antón Lizardo (Veracruz, 1.2%), and Veracruz (Veracruz, 0.24%). On average the boats measured 21 m in length and had a carrying capacity of 15 t and a navigation autonomy of 35 days (Solana-Sansores and Ramírez-López 2006).

Regarding fishery research, the fleet provides biological, environmental, and catch data that, if obtained systematically, contributes to the knowledge of the state of the fish populations and other organisms integrating the pelagic community in the Mexican longline fleet's area of operation (INP 2000a).

Standardization of catch rates has been done for more than a decade using generalized linear models (GLM), which extend the assumption of the form of probability distribution of random errors (Solana-Sansores *et al.* 2004). In other words, these models permit the analysis of the effects and interactions among input variables for modelling catch per unit of effort (CPUE) and facilitate the testing of different error distribution alternatives using a maximum likelihood model-fitting approach (McCullagh and Nelder 1989, Gatica and Hernández 2003). With these models it is also possible to relate normal as well as exponential variables, such as

patudo (*Thunnus obesus*), albacora (*Thunnus alalunga*), aleta azul del norte (*Thunnus thynnus*), aleta azul del sur (*Thunnus maccoyi*) y aleta azul del Pacífico norte (*Thunnus orientalis*). El atún aleta amarilla (AAA) es la segunda especie de túnidos con mayor importancia pesquera a escala mundial, comprendiendo aproximadamente el 24% de la captura total de las especies comerciales. Esta especie está plenamente explotada en el Océano Atlántico (FAO 2009).

Las artes de pesca empleadas en la captura de túnidos son varias, entre ellas están el palangre, la vara y la red de cerco. Su utilización varía en función del mercado al cual va dirigido el producto. El palangre se emplea para el mercado de producto crudo (sashimi y sushi), la vara para el atún fresco o enlatado, y la red de cerco para el enlatado y para obtener atún para engorde. El palangre obtiene 30% de la pesca mundial, incluyendo la mayor parte de la captura de picudos como el marlín, el pez espada y el pez vela (Sosa-Nishizaki *et al.* 2001).

En el Golfo de México se utiliza el palangre a la deriva de tipo americano (INE 2000), el cual consiste en una línea principal de monofilamento de nylon de 4 mm de diámetro y longitud promedio de 63 km y una longitud promedio del reinjal de 35 brazas. Éste se coloca frecuentemente en mar abierto, pero también en áreas cercanas a la costa. Es un arte de pesca que genera capturas integradas, en más de 50% (con respecto al peso o al número), por el AAA (INP 2000a), cuya distribución de tallas durante el 2004 fue de 21.6 a 184.4 cm de longitud furcal (LF) presentando el mayor porcentaje entre 128.4 a 139.6 cm de LF (74.7%).

En comparación con otras capturas con palangre de AAA del Atlántico, en 2004, la pesquería mexicana obtuvo 15.67% (1208 t) de lo capturado en el Golfo de México y 4.67% del total del Atlántico, estimado en 25,859 t según la Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico (ICCAT 2004).

En el Golfo de México, durante el 2004, la flota atunera mexicana estuvo constituida por 32 embarcaciones distribuidas en su mayoría en el puerto de Tuxpan (81.4%), seguido por Yucaltepen (Yucatán, 8.8%), Alvarado (8.3%), Antón Lizardo (1.2%) y Veracruz (0.24%). En promedio, se registrarón embarcaciones de 21 m de eslora con capacidad de carga de 15 t y una autonomía en el mar de hasta 35 días (Solana-Sansores y Ramírez-López 2006).

En cuanto a la investigación científica pesquera, la flota provee información biológica, ambiental y de tecnología de capturas que, recabada de manera sistemática, contribuye al conocimiento del estado de varias poblaciones de peces y otros organismos que integran la comunidad pelágica en el área de operación de la flota palangrera mexicana (INP 2000a).

La estandarización de las tasas de capturas se realiza desde hace más de una década por medio de los modelos lineales generalizados (MLG) que amplían el supuesto de la forma de distribución de probabilidad de los errores aleatorios (Solana-Sansores *et al.* 2004). Dicho de otro modo, estos

binomial, multinomial, and Poisson distributions, that is, variables whose variance is a function of the mean.

One advantage of using GLM is the possibility of trying different options of error distribution and thus improving the fit possibilities, though it has the disadvantage of being more susceptible to statistical significance (Gatica and Hernández 2003). Solana-Sansores *et al.* (2004) mention that GLM are currently applied in the standardization of catch rates for the Gulf of Mexico tuna longline fishery. At present, GLM constitute the most used method in the standardization of CPUE (Punt *et al.* 2000, Simpfendorfer *et al.* 2000, Gatica and Hernández 2003).

In this study we compare catch per trip to detect whether the Mexican longline tuna fleet in the Gulf of Mexico is homogeneous and to determine the factors affecting the efficiency.

## MATERIAL AND METHODS

Analyses were conducted based on data obtained during 2004 in the Gulf of Mexico by onboard observers from the Mexican Tuna Exploitation and Dolphin Protection Program (Programa Nacional para el Aprovechamiento del Atún y Protección del Delfín, PNAAPD), covering 100% of the trips.

The following quantitative variables were considered: *number of hooks, number of days* (trip duration), *gear deployment time, longline soaking time, hauling time, longline total length, gangion length, number of sets per trip, and temperature*. The factor variables were: *area, boat, bait, equipment, trimester, and type of hook* (also called qualitative variables on a nominal scale); the latter variables were fitted by categories, which do not follow any type of order (Milton and Tsokos 2001).

- *Area*: The location of the fishing areas was obtained from reports of sets and they were classified into three groups. The first two groups were assigned according to Noguez-Fuentes *et al.* (2007), who divided the Gulf of Mexico into two fishing zones depending on the concentration of effort: zone I from 90° to 94° W and zone II from 94.1° to 98° W. The third group consisted of boats fishing in both zones.
- *Boat*: The nominal variable consists of the list of all the vessels operating in the Gulf of Mexico (32 boats) and a category was established for each boat.
- *Bait*: From one to four types of bait were recorded per trip, four species of fish and one of mollusc (live and dead), which were classified into 30 categories.
- *Equipment*: This variable was classified in terms of the instruments on board during each trip (echo sounder, video sounder, and radiogoniometer).

modelos permiten el análisis de los efectos e interacciones entre las variables de entrada en la modelación de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) y facilitan el ensayo de diferentes alternativas de distribución del error mediante la utilización de la función de máxima verosimilitud en el ajuste del modelo (McCullagh y Nelder 1989, Gatica y Hernández 2003). Por otro lado, los MLG permiten relacionar variables no sólo de tipo normal sino también variables que pertenecen a la familia exponencial, como son las distribuciones de tipo binomial, multinomial, poisson o de manera más general, variables cuya varianza es función de la media.

La ventaja de aplicar MLG está en la posibilidad de ensayar diferentes opciones de distribución del error, situación que mejora las posibilidades de ajuste, y por otro lado, tiene la desventaja de ser más susceptible en los estadísticos de significancia (Gatica y Hernández 2003). Solana-Sansores *et al.* (2004) mencionan que actualmente los MLG se utilizan en la estandarización de las tasas de captura para la pesquería de atun con palangre del Golfo de México. En la actualidad los MLG constituyen el método más utilizado en la estandarización de la CPUE (Punt *et al.* 2000, Simpfendorfer *et al.* 2000, Gatica y Hernández 2003).

En este trabajo se compara la captura por viaje para detectar si la flota atunera mexicana con palangre en el Golfo de México es homogénea y para determinar los factores que influyen en la eficiencia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los análisis se realizaron a partir de los datos recopilados por observadores a bordo del Programa Nacional para el Aprovechamiento del Atún y Protección del Delfín (PNAAPD) que operaron en el Golfo de México en el año 2004, cubriendo el 100% de los viajes.

Se consideraron las siguientes variables cuantitativas: *número de anzuelos calados, número de días* (duración del viaje), *horas calado, horas reposo, horas cobrado, longitud total del palangre, longitud reinal, número de lances por viaje y temperatura*. Las variables de tipo factor que se analizaron fueron: *área, barco, carnada, equipo, trimestre y tipo de anzuelo* (también llamada variable cualitativa en escala nominal); Estas últimas variables se ajustaron por categorías, los cuales no mantienen una relación de orden entre sí (Milton y Tsokos 2001).

- *Área*: La localización de las áreas de pesca se obtuvo del informe de lances y se clasifican en tres categorías con base en un estudio realizado por Noguez-Fuentes *et al.* (2007), quienes asignan las primeras dos categorías dividiendo el Golfo de México en dos zonas pesqueras según la concentración de esfuerzo: la zona I va de 90° a 94° longitud oeste y la zona II de 94.1° a 98° longitud oeste. La categoría restante es para embarcaciones que pescaron en ambas zonas.

- *Trimester*: The year 2004 was divided into four periods (quarters).
- *Type of hook*: Six categories were considered (American, eagle claw, snapper, Japanese, Norwegian, and unidentified hooks).

Catches were defined by the number of organisms, since estimating catch based on weight can be less accurate.

Several analyses were conducted using GLM and S-Plus statistical software, whose contrast treatment option allows the estimated model coefficients to be referred to the first level of each factor, facilitating the direct interpretation of the results (Pallares *et al.* 2001). For the GLM it is important to first study the data in order to select a statistical model that best fits them (Soto 2002). The statistical theory behind GLM has been widely documented, both for applications related to marine populations (Punt *et al.* 2000, Maunder and Punt 2004 in Quiroz *et al.* 2005) and for the statistical techniques implemented (McCullagh and Nelder 1989, Quiroz *et al.* 2005).

## RESULTS

Analyses using GLM were carried out to estimate the number of tuna caught, assuming that the response variable had a Poisson distribution with a log link function.

The base model was defined as follows:

$$\text{Catch} = \text{type of hook} + \text{boat} + \text{longline total length} + \text{gangion length} + \text{bait} + \text{equipment} + \text{number of days (trip duration)} + \text{number of sets} + \text{trimester} + \text{area} + \text{number of hooks} + \text{temperature} + \text{gear deployment time} + \text{gear soaking time} + \text{hauling time} + \varepsilon$$

where *catch* is the vector of the number of organisms caught per trip and/or set (dependent variable); *longline total length*, *gangion length*, *number of days*, *temperature*, *gear deployment time*, *soaking time*, *recovery time*, *number of sets*, and *number of hooks* are the explanatory (numerical) variables; *boat*, *bait*, *equipment*, *area*, *trimester*, and *type of hook* are the factors; and  $\varepsilon$  is the independent error component assumed to have a normal distribution.

The first analysis was slightly poor, since the model's total deviation value was 17,677.51 with 3367 d.f., quite large for a residual deviation of 14,332.24 with 3294 d.f., that is, an explained variability of barely 18.9%, indicating that the fit was not good.

Catch per trip was then analyzed and highly significant values were found. Based on these results and considering statistical and operational criteria, a second analysis was conducted in order to obtain the best model possible.

The final model that was used based on the principle of parsimony, coherence of the results, and after discarding the

- *Barco*: La variable nominal está conformada por el listado del total de embarcaciones en el Golfo de México y consta de 32 embarcaciones. Se establece, por lo tanto, una categoría por cada barco.
- *Carnada*: Se registraron de uno a cuatro tipos de carnada por crucero, cuatro especies de peces y una de molusco (vivo y no vivo), que quedaron codificadas en 30 categorías.
- *Equipo*: Esta variable se clasificó en función de la presencia de los aparatos en cada crucero (ecosonda, videosonda y radio-goniometro).
- *Trimestre*: El año 2004 se dividió en cuatro periodos.
- *Tipo de anzuelo*: Se consideraron seis categorías (anzuelo americano, garra de águila, huachinanguero, japonés, noruego y anzuelos no identificados).

Las capturas se definieron en número de organismos, ya que la estimación de la captura en peso puede tener menos precisión.

Se realizaron varios análisis mediante MLG a través del paquete estadístico S-Plus, cuya opción de contraste de tratamiento permite que los coeficientes estimados en los modelos queden referidos al primer nivel de cada factor, lo que facilita una interpretación directa de los resultados (Pallares *et al.* 2001). En los MLG es importante explorar previamente los datos con el fin de seleccionar un modelo estadístico que se ajuste bien a ellos (Soto 2002). La teoría estadística detrás de los MLG ha sido ampliamente documentada, tanto para aplicaciones relacionadas con poblaciones marinas (Punt *et al.* 2000, Maunder y Punt 2004 in Quiroz *et al.* 2005), como para técnicas estadísticas implementadas (McCullagh y Nelder 1989, Quiroz *et al.* 2005).

## RESULTADOS

El análisis por MLG se realizó para estimar el número de atunes capturados y se asumió que la variable respuesta tiene una distribución de Poisson con un tipo de ajuste (función link o de unión) log.

El modelo base se definió de la siguiente manera:

$$\text{Captura} = \text{tipo de anzuelo} + \text{barco} + \text{longitud total del palangre} + \text{longitud reinal} + \text{carnada} + \text{equipo} + \text{número de días} + \text{número de lances} + \text{trimestre} + \text{área} + \text{número de anzuelos} + \text{temperatura} + \text{calado} + \text{reposo} + \text{cobrado} + \varepsilon$$

donde *captura* es el vector del número de organismos capturados en cada viaje y/o lance (variable dependiente); *longitud total* del palangre, *longitud reinal*, *número de días*,

less significant variables according to the deviation tables (Soto 2002) was the following:

$$Catch = boat + bait + equipment + number\ of\ days + number\ of\ sets + trimester + \epsilon$$

Note that the variable that has the most significant coefficient corresponded to the number of sets with a positive influence.

Table 1 shows the deviation, total degrees of freedom, and residuals of the model. The deviation or discrepancy column represents the variation recorded for each variable. *Boat* was the most important variable, followed by the longline-related variable (*bait*), while the other variables showed little variation. The set-related variables (*number of sets* and *number of days*) and *trimester* had a secondary effect on the dependent variable, while *equipment* was the least important.

Total deviation was 10,738.44 and 401 d.f., with a residual deviation of 4568.35 and 332 d.f.; therefore, the variability explained by the model was 57.5% (fig. 1), with a residual discrepancy of 42.5% (4568.35) of the total discrepancy. The percentage of variation for each explanatory variable is also shown in figure 1.

Total residuals and normal fit plots show how the model fit the data (fig. 2). The deviation residuals vs fitted values plot (fig. 2a) shows that the variance does not remain constant with the mean; that is, the residual scattering is around zero. The residuals present a more or less large scale, though there is a proportion of negative residuals with a higher absolute value than that of the positive residuals.

Figure 2b shows the plot for the square root of the absolute value of the deviation residuals vs the predicted values on the scale of the original response variable. There are three extreme points (fig. 2a, b) that correspond to data with negative residuals.

Figure 2c shows the response variable vs fitted values plot. Since the model is linear, the points were fitted to a straight line and did not present any curvature, which would

*temperatura, calado, reposo, cobrado, número de lances y número de anzuelos* son las variables explicativas (numéricas); *barco, carnada, equipo, área, fecha y tipo de anzuelo* son los factores; y  $\epsilon$  es el componente del error independiente que se supone normalmente distribuido.

En el primer análisis, el ajuste fue un tanto pobre, ya que el valor de la desviación total del modelo fue de 17,677.51 con 3367 g.l., bastante grande para una desviación residual de 14,332.24 con 3294 g.l., es decir, una variabilidad explicada de apenas 18.9% que indicó que el ajuste no fue bueno.

Posteriormente se analizó la captura por viaje, el cual mostró valores altamente significativos. A partir de estos resultados se evaluó un segundo análisis tomando en cuenta criterios estadísticos y operativos, con el fin de lograr el mejor modelo posible.

El modelo final con el que se trabajó bajo el principio de parsimonia, coherencia de los resultados y posterior al descarte de variables poco significativas con base a las tablas de desviaciones (Soto 2002) fue el siguiente:

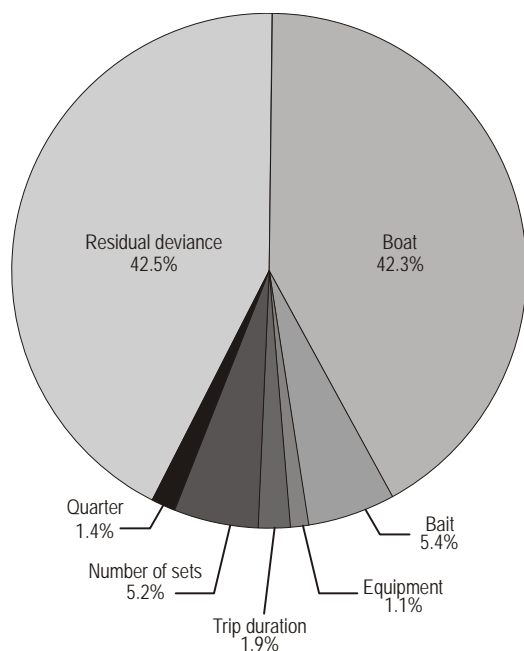
$$Captura = barco + carnada + equipo + número\ de\ días + número\ de\ lances + trimestre + \epsilon$$

Cabe destacar que la variable con el coeficiente más significativo en el modelo correspondió al número de lances con una influencia positiva.

La tabla 1 muestra la desviación del modelo, los grados de libertad total y los residuos del modelo. La columna de desviación o discrepancia representa la variación contabilizada por cada término y se observa que la variable *barco* fue la más importante. Las variables relacionadas con el palangre (como la *carnada*) se encuentran en segunda instancia y poca variación para las demás variables. Con un efecto secundario sobre la variable dependiente resultaron estar las variables relacionadas con los lances: *número de lances* y *número de días*, además del *trimestre*. La de menor importancia resultó la variable relacionada con el equipo técnico del barco. La desviación total fue de 10,738.44 con 401 grados de libertad, con una desviación residual de 4568.35 y 332 grados de libertad. Por lo tanto, la variabilidad explicada por el modelo

**Table 1.** Deviation analysis of the Poisson model, with *catch* as dependant variable. The terms are presented sequentially (from first to last).  
**Tabla 1.** Análisis de desviación del modelo Poisson, con *captura* como variable dependiente. Los términos se agregan secuencialmente (primero al último).

	d.f.	Deviation	d.f.-residual	Deviation-residual
Total			401	10738.44
<i>Boat</i>	31	4542.553	370	6195.89
<i>Bait</i>	29	584.608	341	5611.28
<i>Equipment</i>	4	120.675	337	5490.60
<i>Number of days</i>	1	209.250	336	5281.35
<i>Number of sets</i>	1	563.620	335	4717.73
<i>Trimester</i>	3	149.382	332	4568.35



**Figure 1.** Percentage of variation according to the results from the generalized linear model.

**Figura 1.** Porcentaje de la variación de acuerdo a los resultados del Modelo Lineal Generalizado.

indicate the lack of a quadratic term or a bad selection of the link function.

Figure 2d shows the normal probability of the Pearson residuals. If the residuals adjust perfectly to the line, their distribution would be exactly normal. The uppermost residuals deviated slightly from the line due to the presence of extreme data, which means that the distribution of the Pearson residuals has a thicker tail than the normal distribution.

It is important to note that the partial residuals relative to the factor variables are represented by a constant for each level and the continuous or discrete variables are represented by a straight line whose slope corresponds to the coefficient estimated by the model. The factors *bait*, *boat*, *equipment*, and *trimester* (fig. 3a, b, c, f) were considered important since they presented greater variation among the different levels corresponding to each factor. As expected, the variables *number of sets* (fig. 3e) and *number of days* (fig. 3d) had a positive influence on the dependent variable; that is, *catch* tended to increase as these variables increased.

Figure 4 shows the coefficients relative to the variables *boat*, *bait*, *equipment*, and *trimester* on a non-logarithmic scale that is equivalent to the relative effort of their different categories in a non-logarithmic scale.

The different categories of each factor were arranged from highest to lowest as shown in table 2. Boats 3, 6, 9, 14, 26, 27, 29, 22, 25, and 13 were the ten most efficient boats in the YFT longline fleet in the Gulf of Mexico during 2004.

fue de 57.5% (fig. 1), con una discrepancia residual de 42.5% (4568.35) del total de discrepancia. En la misma figura también se muestra el porcentaje de variación de cada una de las variables explicativas.

Los gráficos de los residuos totales y de ajuste normal del modelo (fig. 2) muestran cómo el modelo se ajustó a los datos. En la figura 2a se muestran los residuos de desviación frente a los valores ajustados, detectándose que la varianza no se mantiene constante con la media, es decir que la dispersión de los residuos oscila al rededor del cero. Los residuos tienen una escala más o menos grande, aunque hay una proporción de residuos negativa con un valor absoluto mayor que los residuos positivos.

En el panel superior derecho (fig. 2b) aparece el gráfico de la raíz cuadrada del valor absoluto de los residuos de desviación frente a los valores predichos en la escala de la variable respuesta original. Existen tres puntos extremos, como se ve en los dos primeros gráficos (fig. 2a, b), que corresponden a datos con residuos negativos.

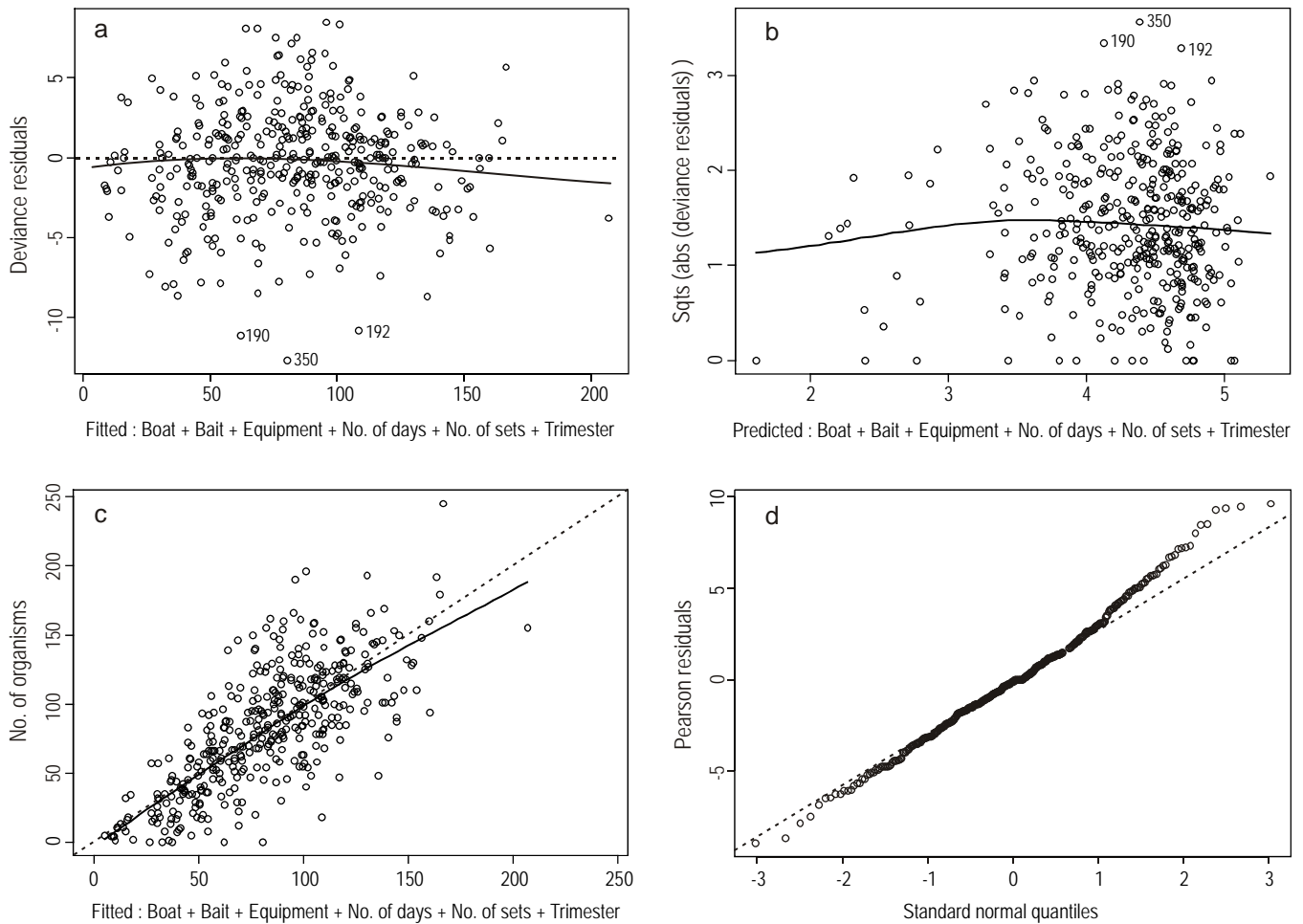
En la figura 2c se presenta la variable respuesta frente a los valores ajustados. Puesto que el modelo es lineal, los puntos se ajustaron a una recta y no presentaron una curvatura que indicaría la falta de algún término cuadrático o una mala elección de la función enlace (*link*).

La figura 2d representa la probabilidad normal de los residuos de Pearson. Si los residuos se ajustaran perfectamente a la recta, su distribución sería exactamente normal. Los residuos del extremo superior se desviaron ligeramente de la recta debido a la presencia de datos extremos, lo que significa que la distribución de los residuos de Pearson tiene una cola más gruesa que la distribución normal.

Es importante mencionar que los residuos parciales con respecto a las variables que son factores están representados con una constante para cada nivel y las variables continuas o discretas con una recta cuya pendiente corresponde a su coeficiente estimado en el modelo. Los factores *carnada*, *barco*, *equipo* y *trimestre* (fig. 3a, b, c, f) se consideraron importantes ya que presentaron una mayor variación entre sus distintos niveles correspondientes de cada factor. Como era de esperarse, la variable *número de lances* (fig. 3e) y la variable *número de días* (fig. 3d) tuvieron una influencia positiva sobre la variable dependiente, es decir que a medida que el número de lances y el número de días del viaje de pesca aumentaron, se dio una tendencia al incremento de la *captura*.

En la figura 4 se muestran los coeficientes relativos a las variables *barco*, *carnada*, *equipo* y *trimestre* en escala no logarítmica que equivale al esfuerzo relativo a las distintas categorías de las variables anteriores en escala no logarítmica.

Se ordenaron las distintas categorías de cada factor de mayor a menor como se muestra en la tabla 2. Los barcos 3, 6, 9, 14, 26, 27, 29, 22, 25 y 13 fueron las diez embarcaciones de mayor eficiencia en la flota palangrera de AAA para el Golfo de México durante el 2004.



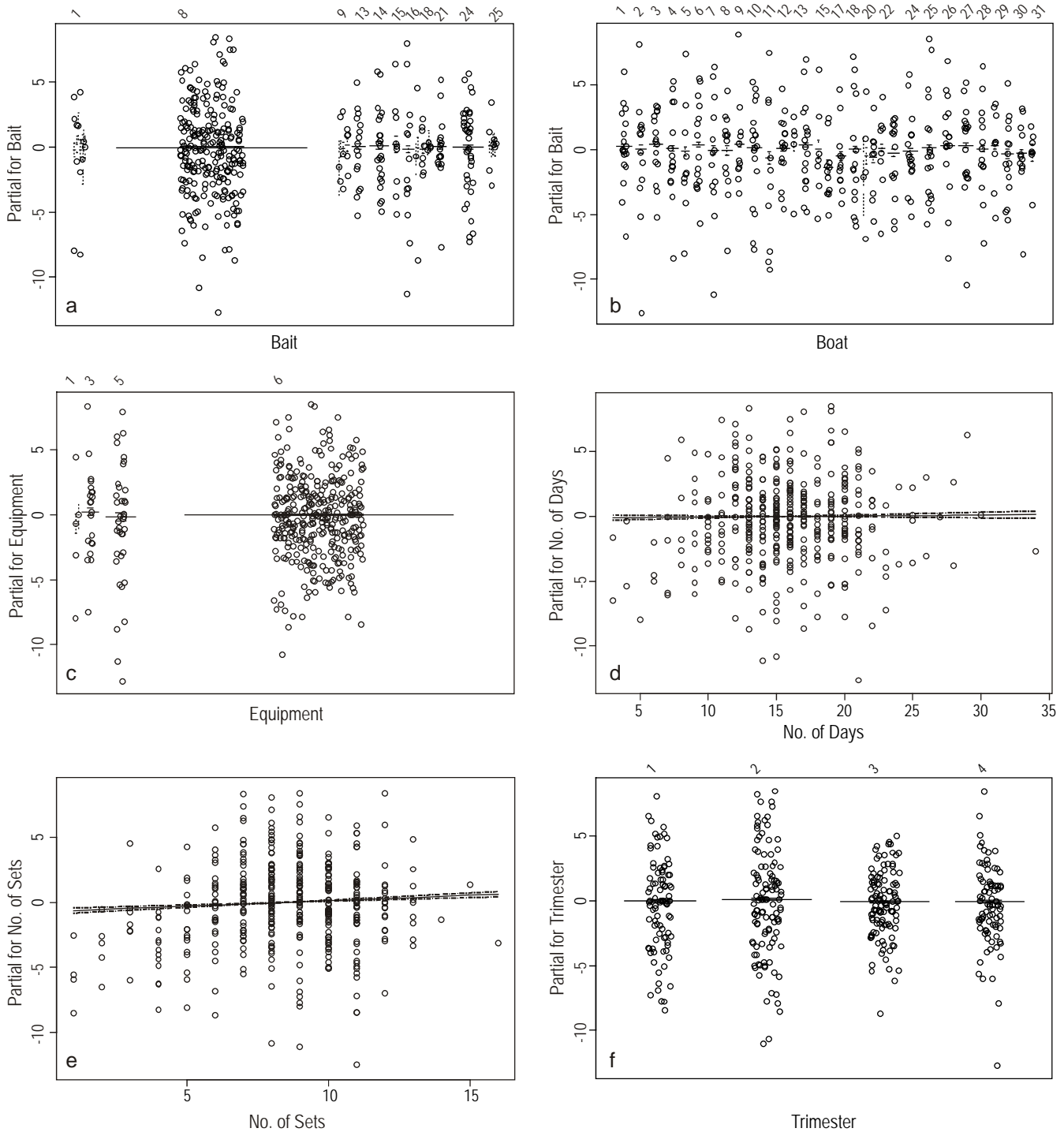
**Figure 2.** Deviation residuals vs fitted values (a) and predicted values (b). Response variable vs fitted values (c) and normal probability plot for the Pearson residuals (d).   
**Figura 2.** Gráfico de los residuos de desviación frente a los valores ajustados (a) y frente a los valores predichos (b). Variable respuesta frente a los valores ajustados (c) y gráfico de probabilidad normal de los residuos Pearson (d).

In 2004, the three best baits for catching tuna, according to the model, were live sardine, dead bigeye scad, and dead squid. The other bait options were not that suitable and the coefficients estimated were relatively homogeneous. Regarding the onboard equipment, the video sounder and/or radiogoniometer performed the best during the fishing activities. Finally, the best periods to capture YFT, according to the GLM, were the second and first trimester of the year.

From the effort relative to category, the variable *boat* was used to compare the efficiency of the 32 vessels with total catch (number of organisms) and fishing effort (number of trips, number of sets, and number of days worked) during 2004 (table 3). As can be seen, the most efficient boat was not necessarily the one that had the highest catches. For example, boat number 14 occupied fourth place in efficiency but first place in catches, third in number of trips, second in number of sets, and fourth in the number of days worked. In turn, boat 9 was the third in efficiency, but the tenth in catches, ninth in trips, fifteenth in number of sets, and

En este mismo año, las tres carnadas que mejor resultado obtuvieron para la captura del atún, según el modelo, fueron sardina viva, ojón muerto y calamar muerto; las otras opciones de carnada no resultaron ser tan adecuadas y los coeficientes estimados en el modelo son relativamente homogéneos. Con respecto al equipo de los barcos, los que mejor desempeño tuvieron para la actividad pesquera son aquellos que contaron con videosonda y/o radiogoniómetro. Finalmente, los mejores periodos para la captura de AAA, según el MLG, fueron el segundo y primer trimestre del año.

Del esfuerzo relativo a categoría se tomó la variable *barco* para comparar la eficiencia de las 32 embarcaciones con la captura total (número de organismos) y el esfuerzo pesquero (número de viajes, número de lances y número de días trabajados) realizados durante el 2004 (tabla 3). Se observa que no necesariamente el barco más eficiente fue aquel que obtuvo las mayores capturas. Por ejemplo, el barco número 14 presentó el cuarto lugar en eficiencia pero el primer lugar en capturas, tercero en número de viajes, segundo

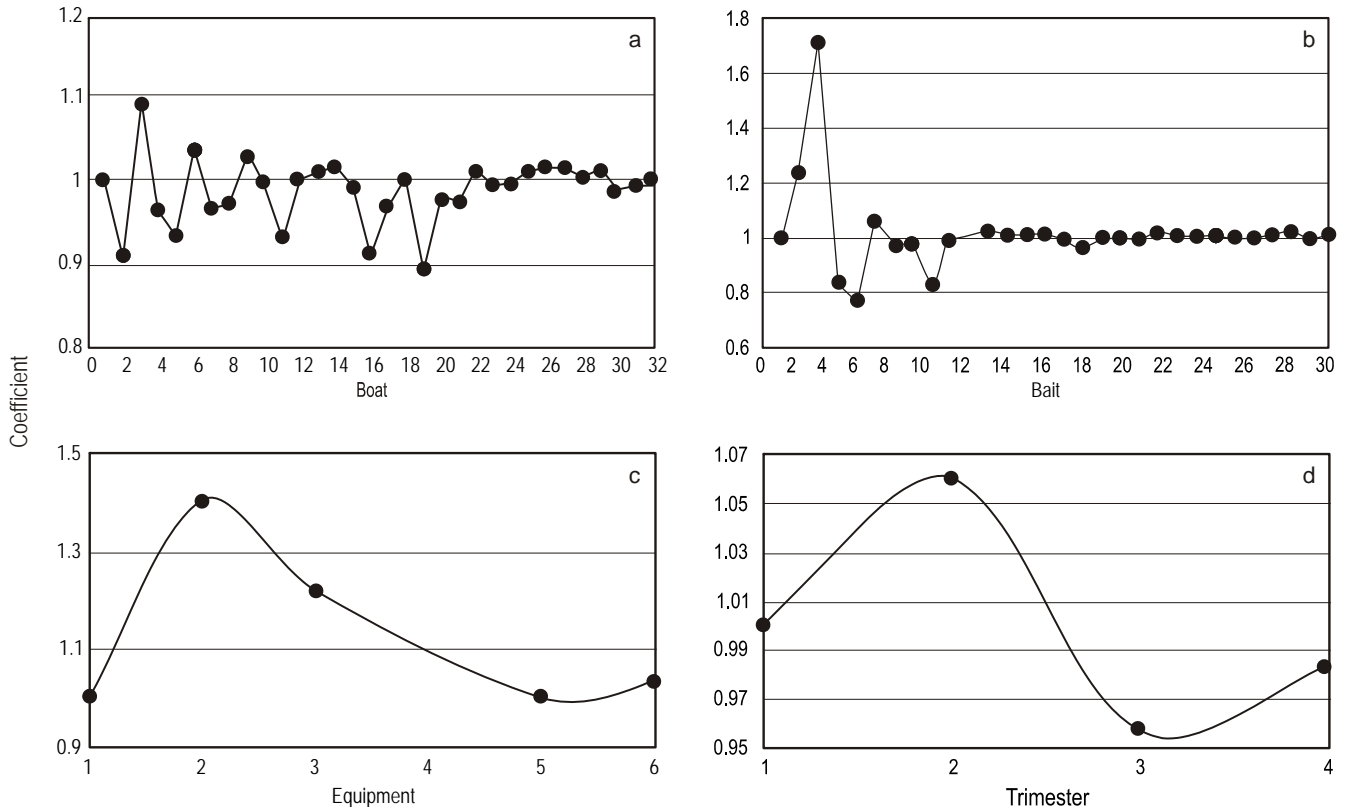


**Figure 3.** Partial residual plots for the generalized linear model.  
**Figura 3.** Gráficos de los residuos parciales del modelo lineal generalizado.

eighteenth in number of days worked. On the other hand, boats 1 and 10 occupied the fifteenth and sixteenth places in efficiency, respectively. Even though boat 1 showed the highest effort, it was not amongst the first in catches. Boat 10 occupied the first places in catch and fishing effort, except for the number of days worked.

en lances y cuarto en el número de días trabajados. En cambio, el barco 9 fue el tercero en eficiencia, pero le correspondió el décimo lugar en capturas, noveno en viajes, décimo quinto en lances y décimo octavo en días trabajados. Opuesto a las anteriores embarcaciones, los barcos 1 y 10 presentaron el décimo quinto y décimo sexto lugar en eficiencia,





**Figure 4.** Coefficients of the variables *boat* (a), *bait* (b), *equipment* (c), and *trimester* (d) of the model (non-logarithmic scale).  
**Figura 4.** Coeficientes de la variable *barco* (a), *carnada* (b), *equipo* (c) y *trimestre* (d) del modelo en escala no logarítmica.

**DISCUSSION**

Fifteen explanatory variables were initially considered but only six were significant (*boat*, *bait*, *equipment*, *trimester*, *number of sets*, and *number of days*) and conformed the final model. The less important variables were also discarded to obtain a simple and practical model, and since the number of sets and fishing days had a positive influence, which did not occur in the other variations, the model is considered to explain the catch variability. The deviation analysis and residual plots showed that the model fit the data well. Considering the complexity of the *catch* variability distribution and the lack of overlap among the explanatory variables, this result is acceptable (Soto 2002).

A notable characteristic is that the variable *boat* had a great effect on the catch levels. This coincides with Hilborn and Walters (1992) and Quiroz *et al.* (2005), who reported that the technical characteristics of the fleet (e.g., efficiency) are the main factors influencing catch rates. The variable *boat* can be composed of several factors such as the experience of the captain and/or crew, boat age, motor characteristics and maintenance, and even the crew’s comfort, which could affect work performance. Future studies could include this or other information in order to remove the significant explicit aspects from the variable *boat*. Moreover, this type of analysis should consider a series of several years, since the

respectivamente. El barco 1 fue de los que más esfuerzo realizó; a pesar de esto no estuvo dentro de los primeros lugares en captura. El barco 10 ocupó los primeros lugares en captura y esfuerzo pesquero a excepción del número de días trabajados.

**DISCUSIÓN**

Inicialmente se consideraron 15 variables explicativas de las cuales sólo 6 fueron significativas (*barco*, *carnada*, *equipo*, *trimestre*, *número de lances* y *número de días*) y conformaron el modelo final. Una de las razones para descartar las variables menos importantes fue para obtener un modelo simple y práctico y se considera que el modelo explica la variabilidad de la *captura* porque el número de lances y días de pesca tuvieron una influencia positiva, lo que no ocurrió con las otras variantes. Existe un buen ajuste a los datos de acuerdo al análisis de las desviaciones y los gráficos de los residuos. Considerando la complejidad en la distribución de variabilidad de la *captura* y la falta de solapamiento entre las variables explicativas, es aceptable este resultado (Soto 2002).

Una característica a resaltar es que la variable *barco* demostró tener gran efecto en el nivel de capturas. Esto coincide con Hilborn y Walters (1992) y Quiroz *et al.* (2005), quienes mencionan que las características técnicas de la flota

**Table 2.** Classification of the variables *boat*, *bait*, *equipment*, and *trimester* from highest to lowest efficiency.

**Tabla 2.** Clasificación de las variables *barco*, *cañada*, *equipo* y *trimestre* de mayor a menor eficiencia.

Efficiency	Variable			
	<i>Boat</i>	<i>Bait</i>	<i>Equipment</i>	<i>Trimester</i>
1	3	3	2	2
2	6	2	3	1
3	9	6	6	4
4	14	21	1	3
5	26	28	5	
6	27	12		
7	29	15		
8	22	14		
9	25	30		
10	13	27		
11	28	13		
12	18	25		
13	12	23		
14	24	22		
15	1	24		
16	10	18		
17	32	11		
18	23	29		
19	15	1		
20	31	19		
21	30	26		
22	20	20		
23	21	10		
24	8	16		
25	7	8		
26	17	7		
27	4	17		
28	5	9		
29	11	4		
30	2	5		
31	16			
32	19			

**Table 3.** Classification of boats from highest to lowest efficiency and rank corresponding to *catch*, *number of sets*, and *days at sea*.

**Tabla 3.** Clasificación de barcos de mayor a menor eficiencia y graduación correspondiente a *captura*, *número de lances* y *días en el mar*

<i>Boat number</i>	Efficiency	<i>Catch</i>	<i>Trip</i>	<i>Set</i>	<i>Days at sea</i>
3	1	2	4	8	3
6	2	8	5	10	1
9	3	10	9	15	18
14	4	1	3	2	4
26	5	4	3	5	3
27	6	7	2	7	8
29	7	18	11	20	26
22	8	23	12	22	27
25	9	5	2	3	6
13	10	26	14	24	28
28	11	11	6	11	7
18	12	13	5	11	13
12	13	9	4	10	4
24	14	14	2	6	11
1	15	6	1	4	2
10	16	3	2	1	5
32	17	25	12	22	20
23	18	20	6	18	19
15	19	22	13	22	22
31	20	21	8	17	17
30	21	19	5	16	15
20	22	31	15	26	29
21	23	29	11	25	25
8	24	16	7	12	16
7	25	12	7	9	10
17	26	24	8	19	14
4	27	15	5	13	9
5	28	27	10	21	24
11	29	28	10	16	21
2	30	17	7	14	12
16	31	30	8	23	23
19	32	32	16	27	30

annual component could play an important role. It would also be interesting to calculate relative effort for the category *boat*, or in other words to determine the number of categories in the fleet to obtain a coefficient of effort relative to the vessel that can be used as reference.

The GLM, apart from providing more significant variables, furnish the level of influence (positive or negative, as well as magnitude) and the percentage of variability generated for the response variable. According to INP (2000b), the efficiency can vary depending on the type of bait, the fisherman's skill and experience, and the boat's

(por ejemplo, la eficiencia) son los principales factores que influyen las tasas de captura. La variable *barco* puede estar compuesta de diversos factores como la experiencia del capitán y/o tripulación, antigüedad del barco, motores, mantenimiento del mismo y hasta comodidad de los tripulantes, lo que haría que desempeñen mejor su trabajo. Esto nos da la pauta para futuros trabajos en los que se pudiera incluir ésta u otra información con el fin de desglosar de la variable *barco*, los aspectos explícitos significativos. Además, sería importante considerar una serie de varios años para este tipo de análisis, ya que el componente anual puede jugar un papel

condition. In the GLM developed in this study, the variables *boat*, *bait*, *equipment*, *trimester*, *number of sets per trip*, and *number of days (trip duration)* are the factors that best explain the catches and, therefore, the ones that most influence the efficiency.

Predictions of the YFT catch efficiency were possible due to the factor calculated by the GLM. Boat number 3 was the most efficient, not only because of the high catches (second place) but also because fishing effort was much lower compared with boat 10. This boat occupied sixteenth place in efficiency despite having one of the highest catches (third place) as a result of its high fishing effort due to the greater number of trips and sets it made. This confirms that the GLM is differentiating, in terms of the variables used in the model, between the effects due or related to the different variables (e.g., days worked or trips made) and the effects associated with the boat that has other variables not determined in this study. The most efficient boat is not necessarily the one that has the largest catches.

The GLM showed that the most efficient bait for catching YFT consists of a single species: live sardine, dead bigeye scad, or dead squid. The GLM also showed that the second trimester was the most effective; however, monthly catch estimates are not only explained by systematic changes in fishing effort or strategies, but also by the biological characteristics and dynamics (Quiroz *et al.* 2005) of YFT or environmental characteristics. The highest catches in this trimester coincide with the greater number of trips made.

Previous studies indicate that the Mexican longline fleet operating in the Gulf of Mexico is very homogeneous in relation to vessels, equipment, and fishing gear and maneuvers, so its operations and results can be grouped within the same category (INP 2000a, Sosa-Nishizaki *et al.* 2001); however, the GLM used here revealed that most catches are due to the variable *boat*, which indicates that the YFT fishery in the Gulf of Mexico could be heterogeneous. This variable is attributed a great effect relative to efficiency. This variability must be associated with factors such as the experience of the captain and crew; boat age; maintenance of the boat, engines, and other equipment; crew comfort and other factors. An analysis with these variables, and including several years of data, could formally support the fact that this fishery is heterogeneous. This type of analysis could also serve as a measure of the efficiency of the tuna boats and assist companies in the taking of decisions to increase their YFT catch levels, without disregarding the standardization of effort and abundance indicators.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Mexican Council for Science and Technology (CONACYT grant No. 199079). We thank PNAAPD for the use of the data base and the observers aboard the tuna vessels for their collaboration.

English translation by Christine Harris.

importante. Asimismo, sería interesante efectuar cálculos de esfuerzo relativo a la categoría del *barco*, es decir, determinar el número de categorías en la flota para obtener un coeficiente de esfuerzo relativo al barco que se tome como referencia.

Los MLG, aparte de proporcionar las variables más significativas, nos proporcionan el nivel de influencia (positiva o negativa, además de la magnitud) y el porcentaje de la variabilidad generada sobre la variable respuesta. De acuerdo con el INP (2000b), la eficiencia puede variar en función del tipo de carnada, la pericia y experiencia del pescador, así como por las condiciones en que se encuentra la embarcación. En el MLG desarrollado en este estudio, las variables *barco*, *carnada*, *equipo*, *trimestre*, *número de lances* y *número de días* son los factores que mejor explican las capturas y por lo tanto son los que más influyen en la eficiencia.

El modelo permitió realizar predicciones de la eficiencia de captura de AAA gracias al factor calculado por el MLG. El barco número 3 fue el más eficiente, no sólo por presentar una de la mayores capturas (segundo lugar) sino también porque el esfuerzo de pesca fue mucho menor en comparación con el barco 10. Este barco obtuvo el décimo sexto lugar en eficiencia a pesar de tener una de las mayores capturas (tercer lugar), debido a que realizó un esfuerzo pesquero mucho mayor ya que fue uno de los que más viajes y lances hizo. Esto reafirma que el MLG está diferenciando, en función de las variables utilizadas en el mismo modelo, los efectos debidos o relacionados a las distintas variables (por ejemplo, días trabajados o viajes realizados) de los efectos relacionados al barco que lleva intrínsecamente otras variables no desglosadas en el presente trabajo. No necesariamente el barco más eficiente es aquel que presenta las mayores capturas.

En referencia a la carnada, el MLG arrojó que la más eficiente para la captura de AAA es aquella integrada por una sola especie: sardina viva, ojón muerto o calamar muerto. Asimismo, el MLG marcó que el segundo trimestre fue el más efectivo; sin embargo, las estimaciones mensuales de la captura no sólo son explicadas por cambios sistemáticos en las estrategias o esfuerzo pesquero, sino también por consecuencia de la dinámica y características biológicas (Quiroz *et al.* 2005) de AAA o ambientales. También, las mayores capturas en ese trimestre coinciden con la mayor ocurrencia del número de cruceros realizados.

Estudios anteriores afirman que la flota palangrera mexicana del Golfo de México es muy homogénea en cuanto a embarcaciones, equipos, artes y maniobras de pesca, por lo que sus operaciones y resultados pueden enmarcarse dentro de una misma categoría (INP 2000a, Sosa-Nishizaki *et al.* 2001). Sin embargo, el MLG en este estudio muestra que las capturas se deben en su mayoría a la variable *barco*, lo que indica que la pesquería de AAA en el Golfo de México podría ser heterogénea. A esta variable se le atribuye un gran efecto respecto a la eficiencia. Esta variabilidad debe estar asociada a factores como la experiencia del capitán y

## REFERENCES

- FAO. 2009. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2008. Fisheries and Aquaculture Department, UN Food and Agriculture Organization, Rome, 218 pp.
- Gatica C, Hernández A. 2003. Tasas de captura estandarizadas como índice de abundancia relativa en pesquerías: enfoque por Modelos Lineales Generalizados. *Investigación Marina, Valparaíso*, 3: 107–115.
- ICCAT. 2004. Sesión de evaluación de ICCAT 2003 del stock de rabil. 21–26 de julio de 2003, Mérida, México. *ICCAT* 56: 443–527.
- INE. 2000. Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental. Primera edición. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT, México, 180 pp.
- INP. 2000a. Capítulo Atún del Golfo de México. In: *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México: Evaluación y Manejo 1999–2000*. Instituto Nacional de la Pesca, SAGARPA, México, pp. 559–584.
- INP. 2000b. Catálogo de los sistemas de captura de las principales pesquerías comerciales. Instituto Nacional de la Pesca, SEMARNAP, 139 pp.
- Hilborn, R, Walters C. 1992. *Quantitative fisheries stock assessment*. Chapman and Hall, New York, 570 pp.
- McCullagh P, Nelder JA. 1989. *Generalized linear model*. Chapman and Hall, New York, 511 pp.
- Milton JS, Tsokos JO. 2001. *Estadística para biología y ciencias de la salud*. Interamericana Mc-Graw Hill. Madrid, España. 210 pp.
- Noguez-Fuentes JF, Dreyfus-León MJ, Robles-Ruíz H. 2007. Influencia de la luminosidad de las fases lunares en la captura de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) con palangre en el Golfo de México. *Hidrobiológicas*. 17: 91–99
- Pallares P, Gaertner D, Soto M, Delgado de Molina A, Ariz J. 2001. Estandarización del Esfuerzo de las Flotas de Cerco Tropical por Medio de Modelos Lineales Generalizados. *ICCAT*. 54: 107–108.
- Punt AE, Walker TI, Taylor BL, Pribac F. 2000. Standardization of catch and effort data in a spatially-structured shark fishery. *Fish. Res.* 45: 129–145.
- Quiroz JC, Wiff R, Montenegro C. 2005. Factores que afectan las tasas de captura de langostino amarillo (*Cervimunida johni*) en la zona norte de Chile. *Investigación Marina, Valparaíso*. 33: 43–55.
- tripulación; la antigüedad de la embarcación; el mantenimiento del barco, de los motores y otros equipos; las comodidades u otros factores. Un análisis con estas variables e incluyendo varios años de datos podría sustentar formalmente que esta pesquería es heterogénea. Asimismo, este tipo de análisis puede servir como indicador de medida de eficiencia de las embarcaciones atuneras y dar pauta a las empresas en la toma de decisiones para incrementar sus niveles de captura de AAA, sin olvidar la estandarización del esfuerzo e indicadores de abundancia.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional para la Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado con número de registro 199079, al PNAAPD las facilidades de uso de la base de datos y a los observadores a bordo de la flota atunera su colaboración.

- 
- Simpfendorfer CA, Donohue K, Norm G. H. 2000. Stock assessment and risk analysis for the whickery shark (*Furgaleus macki*; Whitley) in southwestern Australia. *Fish Res.*, 47:1–107.
- Solana-Sansores R, Ramírez-López K. 2006. Análisis de la Pesquería Mexicana del Atún en el Golfo de México, 2004. *ICCAT*. 59: 525–535.
- Solana-Sansores R, Urbina-Pastor R, Brown CA. 2004. Estandarización de las tasas de captura de la pesquería de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) con Palangre en el Golfo de México, Con Base en los Programas de Observadores de México (PNAAPD) y Estados Unidos (1992–2002). *El Vigía PNAAPD*, 9(20): 13–15.
- Sosa-Nishizaki, O, Robles-Ruíz H, Dreyfus-León MJ, Ceseña-Ojeda O. 2001. La pesca de atún con palangre en el Golfo de México (Primer semestre del 2001). *El Vigía PNAAPD*. 6: 20–23.
- Soto-Ruíz, M. 2002. Estandarización de series de CPUE con S-Plus. Instituto Tecnológico de Oceanografía, Madrid, Spain, 105 pp. [Http://www.ieo.es/images/pdfs/manual.pdf](http://www.ieo.es/images/pdfs/manual.pdf).

*Recibido en octubre de 2009;  
aceptado en enero de 2010.*