

## SELECTIVIDAD DEL SISTEMA DE PALANGRE UTILIZADO POR LA FLOTA MEXICANA EN LA ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA

### SELECTIVITY OF THE LONGLINE SYSTEM USED BY THE MEXICAN FLEET IN THE EXCLUSIVE ECONOMIC ZONE

Heriberto Santana-Hernández  
René Macías-Zamora  
J. Javier Valdez-Flores

Centro Regional de Investigación Pesquera, INP  
Playa Ventanas s/n  
Apartado postal 591  
Manzanillo, CP 28200, Colima, México

*Recibido en julio de 1997; aceptado en febrero de 1998*

#### RESUMEN

El palangre es un arte de pesca utilizado en la captura de peces pelágicos. Consiste de una línea principal o línea madre de la cual penden líneas secundarias, con anzuelos, llamadas reinales. Este arte de pesca ha demostrado su eficiencia para la captura de atunes, tiburones y picudos. La selectividad específica relativa, de acuerdo con algunos autores, parece estar influenciada por factores como la estrategia de pesca, la distribución horizontal y vertical de las especies y el tipo y tamaño de carnada. En el presente trabajo se propone un método práctico para la estimación de la profundidad a la que operan los anzuelos, considerando la catenaria formada por la línea madre en cada sección. Esta estimación se comparó con datos obtenidos con un CTD colocado en la posición de los anzuelos durante la operación del palangre. Además, se realizó un análisis de la composición específica de la captura obtenida en cada posición del anzuelo. Los resultados indican que existe una diferencia de más de 30 m entre las profundidades de operación de los anzuelos en una sección. De la misma forma, se observó que existieron diferencias significativas (al nivel  $\alpha = 0.05$ ) en la captura específica efectuada en cada nivel de operación.

*Palabras clave:* palangre, selectividad, especies pelágicas.

#### ABSTRACT

The longline is the most common fishing gear used to catch pelagic fish species. It consists of a principal line or mother line from which secondary lines with hooks hang. This fishing gear has demonstrated its efficiency to catch tuna, shark and billfish. The relative specific selectivity, according to some authors, seems to be influenced by factors like fishing strategy, horizontal and vertical species distribution, and the kind and size of bait. In this paper, a practical method to estimate hook operating depth is proposed, taking into consideration the catenary line formed by the mother line in each section. This estimate was validated with data obtained by means of a CTD meter placed at the same depth as the hooks during the longline operation. Moreover, an analysis of the species composition of the catch at each hook depth was performed. The results indicate that there is a difference of more than 30 m between operating depths in each section. Likewise, significant differences (at level  $\alpha = 0.05$ ) among catches at each operating level were observed.

*Key words:* longline, selectivity, pelagic species.

## INTRODUCCIÓN

En México existen cuatro pesquerías comerciales que pueden considerarse de gran escala por las características, tamaño y diseño de las embarcaciones, las zonas de operación y el arte de pesca utilizado: la atunera, la sardinera y anchovetera, la camaronera y la de tiburones y picudos con palangre (Diario Oficial de la Federación, 1987).

El palangre es un arte de pesca utilizado en la captura de especies pelágicas, que consiste de una línea principal o línea madre, a partir de la cual penden líneas secundarias llamadas reinales (entre 1000 a 2500). Cada reinal incluye un anzuelo, el cual es cebado con pequeños peces enteros; se distribuyen en secciones cuyos límites son dos líneas verticales llamadas orinques sostenidas por boyas. La cantidad de reinales que operan en cada sección o "canasta" varía de 4 a 15, siendo 5 los más utilizados por los barcos palangreros mexicanos. Este sistema de captura originalmente fue utilizado por los japoneses para la pesca de atunes a principios de la década de los años cincuenta. Durante la exploración de nuevas áreas de captura, en la década de los años sesenta, demostró su eficiencia para la captura de picudos: pez vela, marlin y pez espada (Ueyanagi, 1974; Miyabe y Bayliff, 1987).

De acuerdo con Lokkeborg y Bjordal (1992), existen varios factores que influyen en la selectividad específica y el tamaño de los peces capturados por las embarcaciones palangreras, principalmente la estrategia de pesca, con relación a la distribución horizontal y vertical de las especies de acuerdo con la época del año, y el tipo y tamaño de la carnada y del anzuelo.

Según Macías (1993), la fracción de la flota palangrera de bandera mexicana denominada TIBURÓN, que operó entre 1980 y 1990, presentó cierta selectividad hacia las especies de tiburón y pez vela, influenciada por la zona de operación y algunas características operacionales comunes a este grupo de barcos.

La distribución de las especies que se capturan comúnmente en la pesquería palangrera, así como sus fluctuaciones en función de la temporalidad y parámetros fisicoquímicos a

## INTRODUCTION

In Mexico, the commercial fisheries of tuna, sardine-anchovy, shrimp, and shark and billfish with longline are considered large scale, because of their characteristics, the size and design of the ships, the areas of operation and the fishing gear used (Diario Oficial de la Federación, 1987).

The longline is a fishing gear used to catch pelagic species; it consists of a main line or mother line, from which secondary lines, or branch lines, hang (between 1000 and 2500). Each branch line includes a hook that is baited with small whole fish; they are divided into sections, the limits of which are set by two vertical lines called flag lines that are suspended from buoys. The number of branch lines that operate in each section or "basket" varies from 4 to 15; the most common number used by Mexican longliners is 5. This system was originally used by the Japanese for tuna fishing at the beginning of the 1950s. During the exploration of new fishing areas during the 1960s, this system proved to be efficient for catching billfish: sailfish, marlin and swordfish (Ueyanagi, 1974; Miyabe and Bayliff, 1987).

According to Lokkeborg and Bjordal (1992), specific selectivity and size of the fish caught by longline ships are influenced by many factors, mainly the fishing strategy, with regard to the horizontal and vertical distribution of the species in relation to the season, and the type and size of the bait and of the hook.

According to Macías (1993), from 1980 to 1990 the TIBURÓN division of the Mexican longline fleet presented certain selectivity towards shark and sailfish species, due to the area of operation and some operational characteristics common to this group of boats.

The distribution of the species commonly caught by the longliners, as well as their fluctuations in terms of time and physicochemical parameters at different depths, have been observed and reported by the commercial fisheries and in studies of acoustic telemetry. This is reported by Compagno (1984) for the pelagic thresher (*Alopias pelagicus*), the blue shark (*Prionace glauca*), the blacktip shark (*Carcharhinus limbatus*) and the scalloped

diferentes niveles de profundidad, se han reportado tanto de observaciones de las actividades pesqueras comerciales como de estudios donde se utilizó telemetría acústica. En este sentido, Compagno (1984) lo menciona para el tiburón zorro (*Alopias pelagicus*), el tiburón azul (*Prionace glauca*), el tiburón volador (*Carcharhinus limbatus*) y la cornuda común (*Sphyrna lewini*); Holts (1988) también lo menciona para *A. pelagicus*; Holts y Bedford (1990) para el marlin rayado (*Tetrapturus audax*); Collete y Nauen (1983) para el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*); Carey (1990) y Block (1990) para el pez espada (*Xiphias gladius*); y Beardsley *et al.* (1975) para el caso del pez vela (*Istiophorus platypterus*). Los resultados obtenidos por estos autores muestran que el marlin rayado y el pez espada realizan migraciones verticales; durante el día se encuentran en capas profundas (en ocasiones superiores a los 100 m) y regresan durante la tarde y la noche hacia las capas superficiales. El pez vela ha sido capturado indistintamente en cualquiera de los niveles de operación de los palangres, cuya profundidad fluctúa entre la superficie y los 160 m.

Los reportes relacionados con el tiburón zorro y el tiburón azul indican que éstos presentan mayor incidencia en las capas profundas, mientras que el tiburón martillo, tiburón volador y atún aleta amarilla se localizan más superficialmente.

Con base en la suposición de que la distribución de la temperatura afecta la distribución vertical de las especies en la columna de agua, el presente trabajo tiene como objetivos: (1) calcular la profundidad de operación de los anzuelos en el palangre, considerando la catenaria formada por la línea madre; (2) desarrollar un método práctico de estimación de la profundidad de operación; y (3) evaluar la influencia de este aspecto en la composición específica de la captura obtenida.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos utilizados en este trabajo fueron obtenidos en el crucero de pesca comercial efectuado del 17 de marzo al 12 de mayo de 1993 por el barco palangrero *Tiburón III*, de

hammerhead (*Sphyrna lewini*); by Holts (1988) for *A. pelagicus*; Holts and Bedford (1990) for the striped marlin (*Tetrapturus audax*); Collete and Nauen (1983) for the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*); Carey (1990) and Block (1990) for the swordfish (*Xiphias gladius*); and Beardsley *et al.* (1975) for the sailfish (*Istiophorus platypterus*). The results obtained by these authors indicate that the striped marlin and swordfish migrate vertically; they move to deep depths (occasionally deeper than 100 m) during the day and return to the surface layers in the afternoon and evening. Sailfish have been caught indistinctly at all the levels of operation of the longliners, the depth of which fluctuates between the surface and 160 m.

Reports on the pelagic thresher and the blue shark indicate that these species present a greater occurrence at deep depths, while the scalloped hammerhead, blacktip shark and yellowfin tuna occur more superficially.

Based on the assumption that temperature affects the vertical distribution of species in the water column, the objectives of this study are: (1) to calculate the operating depth of the hooks on the longline, based on the catenary line formed by the main line; (2) to develop a practical method to estimate the operating depth; and (3) to evaluate the influence of the operating depth on the specific composition of the catch.

## MATERIAL AND METHODS

The data used in this study were obtained during a commercial fishing cruise conducted from 17 March to 12 May 1993 by the longliner *Tiburón III*, 44.7 m long with a storage capacity of 120 t. Twenty-three sets were made, with a total effort of 31,360 hooks, the distribution of which was decided by the captain (possibly based on past experience or just intuition). The positions of the quadrants are shown in figure 1 and are described in detail in table 1.

The gear was set and hauled with a line-setter and line-hauler, located on the stern and bow, respectively. This allowed the sets to be made at speeds between 7 and 10 knots. All the sets began at approximately 4:00 a.m. and



Figura 1. Área de operación.  
Figure 1. Area of operation.

Tabla 1. Posición geográfica de los cuadrantes donde se realizaron los lances de pesca.  
Table 1. Geographic position of the quadrants where the fishing sets were conducted.

Área	Lances	Latitud (N)	Longitud (O)
1	1-9	21°40'-22°50'	106°40'-107°10'
2	10	26°05'-26°33'	115°08'-115°12'
3	11-15	21°15'-21°26'	109°02'-109°08'
4	16-23	19°12'-19°48'	106°43'-111°54'

44.7 m de eslora y 120 t de capacidad de bodega. Se realizaron 23 lances de pesca, con un esfuerzo total de 31,360 anzuelos, distribuidos a criterio del capitán de la embarcación (basándose, posiblemente, en experiencias anteriores o sólo confiando en su intuición) en las posiciones de los cuadrantes que se presentan en la figura 1 y se describen detalladamente en la tabla 1.

ended approximately 4 h later. The gear was left in the water for approximately 8 h. The line-hauling presented greater variability, sometimes taking from 6 to 11 h, depending on the number of fish caught.

The velocity at which the main line was set from the stern was recorded, as was the ship's speed during the operation, the position of the branch lines between the flag lines, the catch

El proceso de tender y cobrar el equipo de pesca se realizó por medio de las máquinas tiralíneas y cobralíneas, las cuales se encuentran ubicadas en la popa y la proa del barco, respectivamente, lo que permite que el lance de pesca se desarrolle a velocidades entre 7 y 10 nudos. En todos los lances se inició el tendido aproximadamente a las 4:00 a.m. y se terminó aproximadamente 4 h después. El tiempo de reposo del arte fue de aproximadamente 8 h. El proceso de cobrado fue el que presentó mayor variabilidad dependiendo del número de animales capturados, requiriéndose entre 6 y 11 h para realizarlo.

Se registró la velocidad de salida de la línea madre en la máquina de popa, velocidad del barco durante la operación, posición de los reinales entre orinques, capturas obtenidas en cada posición de reinal, tiempo de reposo y tiempo de cobrado.

La longitud de la línea madre varió entre 25,200 y 75,600 m, dependiendo del número de anzuelos utilizados en cada lance (entre 500 y 1500); fue construida de cremona (material sintético de poliamida) de 4 mm de diámetro. La longitud de los reinales fue de 19 a 22 m y la del orinque de 11 a 12 m. Los reinales se colocaron en la línea madre con una separación de aproximadamente 50 m; las boyas de acrílico, con un diámetro de 300 mm, se colocaron cada 5 anzuelos (300 m aproximadamente). Por lo general, se utilizaron anzuelos atuneros tipo japonés del No. 3.8, de 65 mm de largo, 30 mm de ancho y 4 mm de diámetro. La variación en las longitudes de los diferentes componentes se debe a que al momento de construir o reparar el equipo de pesca, los pescadores miden estas longitudes en brazadas, siendo una brazada la longitud comprendida entre sus manos cuando tienen sus brazos completamente extendidos a sus costados (aproximadamente 1.80 m).

Los barcos palangreros mexicanos utilizan peces pequeños completos como carnada en cada uno de los anzuelos tendidos, generalmente lisa (*Mugil curema*) o macarela (*Scomber japonicus*). La carnada utilizada en el viaje analizado fue macarela, obtenida en una planta empacadora de San Pedro, California, EUA. Se realizó un muestreo de 20 organismos extraídos al azar de uno de los empaques con el fin de

at each position of the branch line, the amount of time it was left in the water and the haul time.

The length of the main line varied between 25,200 and 75,600 m, depending on the number of hooks used in each set (from 500 to 1500). It was made of a synthetic polyamide material and measured 4 mm in diameter. The branch lines measured from 19 to 22 m in length, and the flag lines from 11 to 12 m. The branch lines were positioned on the main line with a separation of approximately 50 m. Acrylic buoys, 300 mm in diameter, were placed every 5 hooks (300 m approximately). Japanese tuna hooks, No. 3.8, 65 mm in length, 30 mm in width and 4 mm in diameter were normally used. The variation in the lengths of the gear is due to the fact that during construction or repairs, the fishermen measure these lengths in fathoms; one fathom equals the distance between their hands when their arms are completely outstretched (approximately 1.80 m).

The Mexican longliners use small whole fish as bait on each of the hooks, usually white mullet (*Mugil curema*) or chub mackerel (*Scomber japonicus*). Chub mackerel was used in this study, obtained from a packing plant in San Pedro, California, USA. A random sampling of 20 organisms from one of the packages was made to determine their average length and weight, which were 28 cm and 260 g, respectively. These measurements concurred with the specifications on the packages.

### Operating depth of the hooks

In the method proposed, it is necessary to know the length of the main line of one section and the distance between the two buoys that delimit it during the operation to calculate the theoretical operating depth of the hooks. It should be noted that the length of the main line of one section depends on the speed of the line-setter: at higher speed, the line-setter sets more meters per unit of time. The criterion used is an audible sonar signal programmed for every 48 seconds, which indicates the moment a buoy is set. The distance between the two buoys that delimit the main line depends on the speed of the ship during the line-setting.

estimar la longitud y el peso promedio, resultando de 28 cm y 260 g, respectivamente, los cuales fueron coincidentes con las especificaciones de la totalidad de los anzuelos.

### Profundidad de operación de los anzuelos

El método propuesto para calcular la profundidad teórica de operación de los anzuelos requiere conocer la longitud de la línea madre dentro de una sección y la distancia entre las dos boyas que la limitan durante la operación. Cabe mencionar que la longitud de la línea madre en una sección está en función de la velocidad de la máquina tiralíneas: a mayor velocidad de la máquina se tiran más metros por unidad de tiempo. El criterio utilizado es una señal auditiva programada para sonar cada 48 segundos, señal que indica el momento de instalar una boya. La distancia entre las dos boyas que la limitan depende de la velocidad de navegación del barco durante el proceso de tendido.

La relación existente entre la longitud de la línea madre y la distancia entre las dos boyas permite que la línea esté sujeta a una tensión provocando que la catenaria sea más o menos pronunciada, afectando así la profundidad de operación de cada uno de los anzuelos correspondientes a una sección del palangre (fig. 2).

El método propuesto para estimar la profundidad de operación de los anzuelos en cada sección del palangre consiste básicamente en suponer que la catenaria formada por la línea madre se puede aproximar para fines prácticos, mediante la ecuación de la parábola con vértice en el origen  $Y = aX^2$  (fig. 3), función que queda completamente definida al conocer el parámetro  $a$ . Considerando que la longitud de la línea madre  $\ell$  entre boya y boya se conoce, y la distancia  $d$  en la superficie también se conoce, sería de utilidad obtener una fórmula explícita para el parámetro  $a$  en función de las variables  $d$  y  $\ell$  conocidas, de forma que cada punto de la curva pueda ser determinado. En el apéndice 1 se presenta el desarrollo de la ecuación que representa la longitud de la línea madre en función del parámetro  $a$  de la ecuación de la parábola y de la distancia  $d$  entre boyas en la superficie.

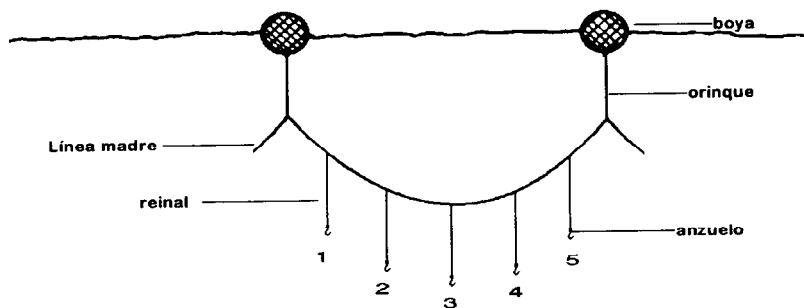
The relationship between the length of the main line and the distance between the two buoys allows for tension on the line. This causes the catenary line to be more or less pronounced and affects the operating depth of each of the hooks in a section of the longline (fig. 2).

The method proposed to estimate the operating depth of the hooks in each section of the longline is based mainly on the assumption that the catenary line formed by the main line can be estimated with the parabola equation with the vertex at origin  $Y = aX^2$  (fig. 3), which is completely defined once parameter  $a$  is known. If the length of the main line  $\ell$  between one buoy and the next is known, as well as distance  $d$  at the surface, an explicit formula for parameter  $a$  in terms of variables  $d$  and  $\ell$  would be useful to determine each point of the curve. Appendix 1 shows the sequence of the equation that represents the length of the main line in terms of parameter  $a$  of the parabola equation and distance  $d$  between the buoys at the surface.

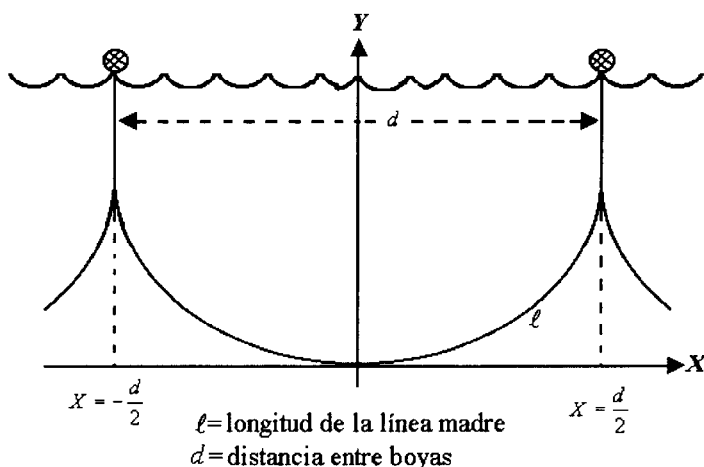
However, due to the complexity of the equation, it was not possible to determine parameter  $a$ , and it was therefore necessary to develop an iterative method to obtain the value of this parameter for each one of the  $d$  and  $\ell$  values measured in the field.

The algorithm of the bisection described by Burden and Faires (1985) was used to elaborate a computer program that calculates the value of  $a$  and the depth at which a given number of branch lines hanging from the main line operate once the  $\ell$  and  $d$  variables are known. Appendix 2 shows the basic structure of the program.

In order to validate the theoretical estimates obtained with this procedure, sets were conducted with a CTD (model OS200) attached to the branch line, which replaced the corresponding hook. The weight of the instrument was compensated for with a polyurethane floater and the drag from the current was considered similar to that of the hooks during normal operations. The instrument was programmed to record temperature, depth and salinity at 10-min intervals for approximately 8 h, which is how long the fishing gear was in place. This procedure was conducted three



**Figura 2.** Sección de un palangre con cinco anzuelos.  
**Figure 2.** Section of a longline with five hooks.



**Figura 3.** Representación esquemática y medidas de una sección de palangre.  
**Figure 3.** Schematic representation and measurements of a section of longline.

Sin embargo, la complejidad de la ecuación impide despejar el parámetro  $a$  y fue necesario desarrollar un método iterativo para conocer el valor de este parámetro para cada uno de los valores  $d$  y  $\ell$  medidos en el campo.

Con este objetivo se utilizó el algoritmo de la bisección descrito por Burden y Faires (1985) para elaborar un programa de cómputo, el cual calcula el valor de  $a$  y la profundidad en la que operan un número dado de reinales que penden de la línea madre una vez que se

times at each of the hook positions. It should be noted that the installation of the CTD did not significantly alter the catch, since only one hook was replaced out of an average of 1360.

The selectivity of the fishing gear refers to the catches obtained in terms of the operating depths of the hooks. The eight principal species present in the catch were: the pelagic thresher (*Alopias pelagicus*), blue shark (*Prionace glauca*), blacktip shark (*Carcharhinus limbatus*), scalloped hammerhead (*Sphyrna*

conocen las variables  $t$  y  $d$ . En el apéndice 2 se presenta un listado de la estructura básica del programa.

Con el objeto de validar las estimaciones teóricas hechas con este procedimiento, se realizaron lances donde se sujetó un CTD (modelo OS200) al reinal, el cual sustituyó el anzuelo correspondiente. El peso del instrumento fue compensado con un flotador de poliuretano y el efecto de arrastre por corriente se consideró similar al que sufre el anzuelo durante la operación normal. El instrumento se programó para que realizara registros de temperatura, profundidad y salinidad con intervalos de 10 min durante aproximadamente 8 h, tiempo que duró el equipo de pesca en operación. Este procedimiento se realizó tres veces en cada una de las posiciones de los anzuelos. Cabe mencionar que la instalación del CTD no influyó significativamente en la captura obtenida, puesto que en cada lance sólo se sustituyó un anzuelo de un promedio de 1360.

La selectividad del arte de pesca se refirió a las capturas obtenidas en función de la profundidad de operación de los anzuelos, considerando las ocho principales especies presentes en la captura: tiburón zorro (*Alopias pelagicus*), tiburón azul (*Prionace glauca*), tiburón volador (*Carcharhinus limbatus*), tiburón martillo (*Sphyrna lewini*), marlin rayado (*Tetrapturus audax*), pez vela (*Istiophorus platypterus*), pez espada (*Xiphias gladius*) y atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*).

En este análisis se utilizaron los registros captados durante cada lance, en los cuales se contabilizaron las especies de acuerdo con la posición del anzuelo en el que fueron capturadas, tomando en orden ascendente conforme fueron subiendo al barco los reinales, del 1 al 5 de cada sección del palangre. El anzuelo número 1 y el anzuelo número 5 (primero y último que suben al barco, respectivamente), por el efecto de la parábola, se supone que operaron aproximadamente a la misma profundidad (fig. 2), profundidad de operación relativamente más somera y que en adelante denominaremos nivel 1; los anzuelos 2 y 4 corresponderán, por las mismas razones, al nivel de profundidad 2; y por último, el anzuelo

*lewini*), striped marlin (*Tetrapturus audax*), sailfish (*Istiophorus platypterus*), swordfish (*Xiphias gladius*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*).

The records from each set were used in this analysis. The species were accounted for by the position of the hook with which they were caught, recording them in ascending order as the branch lines were hauled on ship, from 1 to 5 for each section of the longline. Due to the effects of the parabola, hook 1 and hook 5 (the first and last to be hauled on board, respectively) were assumed to have operated at approximately the same depth (fig. 2), which is relatively shallower, and from here on will be called level 1; likewise, hooks 2 and 4 correspond to level 2, and hook number 3, which operates at the deepest depth, corresponds to level 3.

In order to detect differences in the catch composition of each of the areas of operation, an analysis of variance (ANOVA) was conducted with a level of significance of  $\alpha = 0.05$ , using the data on catch per unit effort (CPUE), expressed as the number of individuals caught for every 1000 hooks, with the design of complete aleatory blocks (Steel and Torrie, 1988).

Later, ANOVAs were made with the above-mentioned design, using the CPUE as the response variable for each of the species at each of the three operating levels of the hooks (i.e., three treatments), to identify the possible differences in the occurrence of each species among these levels of operation.

First, an analysis was made of all the sets carried out during the trip (23 sets). Then, the data were analyzed by separating the three geographic areas of operation, excluding set number 10 which was the only one made in this quadrant. The data were separated in order to avoid biases resulting from the different oceanographic characteristics of the areas, with regard to their geographic position or the season in which the sets were made. For example, area 1 and area 3 were fished with a time difference of approximately one month, even though they are adjacent to each other (fig. 1, table 1).



número 3, el cual opera a la mayor profundidad, representa el nivel de profundidad 3.

Con el fin de conocer la existencia de diferencias en la composición de las capturas en cada una de las áreas de operación, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA), con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ , con los datos de captura por unidad de esfuerzo (CPUE), expresados como el número de individuos capturados por cada mil anzuelos, utilizando el diseño de bloques completos aleatorizados (Steel y Torrie, 1988).

Posteriormente se realizaron ANDEVAs con el diseño antes mencionado, tomando como variable respuesta la CPUE para cada una de las especies en cada uno de los tres niveles de operación de los anzuelos (esto es, tres tratamientos) para identificar posibles diferencias en la incidencia de cada especie entre estos niveles de operación.

Primeramente se realizó el análisis para la totalidad de los lances efectuados durante el crucero (23 lances). Posteriormente se analizaron los datos separando las tres áreas geográficas de operación, excluyendo el lance número 10 que fue el único realizado en ese cuadrante. Esta separación se efectuó con el fin de evitar los sesgos que de alguna manera pueden provocar las diferentes características oceanográficas de las zonas asociadas a su ubicación geográfica o la época en que se realizaron los lances, puesto que en el caso del área 1 y área 3, aunque son contiguas, fueron operadas con una diferencia aproximada de un mes (fig. 1, tabla 1).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Profundidad de operación

Para el cálculo de las profundidades de operación, se consideraron los datos obtenidos durante los lances realizados y que se presentan en la tabla 2.

Con esta información y aplicando el método descrito se obtuvieron las profundidades teóricas de operación de los anzuelos. En la tabla 3 se presentan las profundidades teóricas estimadas y las profundidades mínimas, promedio y máximas medidas.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Operating depth

The operating depths were calculated with data from the sets made. This information is presented in table 2.

The proposed method was applied to this information, and the theoretical operating depths of the hooks were estimated. Table 3 shows the theoretical depths, as well as the minimum, average and maximum depths measured.

Table 3 shows that the depth calculated with the method proposed seems to be an estimate of the depth at which, under ideal conditions, the hooks would operate, in other words, in the absence of forces other than gravity that produce the deformation of the parabola formed by the main line. According to the results (table 3), the estimate corresponds to the maximum operating depth of the hooks. The changes observed in the depth measured may be due to many factors, such as the drag from the currents and the tension created by the organisms caught, which apparently cause the gear to operate more superficially.

### Catch composition

The specific catch composition obtained during the trip is shown in table 4. Table 5 summarizes the number of organisms per species caught at each hook position. Table 6 shows the ANOVA of the specific composition per area of operation, and table 7, the average number of organisms per species caught for every 1000 hooks in each quadrant where sets were made, including a summary of the ANOVA.

Table 7a shows that the greatest average catch of the pelagic thresher, swordfish, striped marlin and blue shark always occurred at level 3, and that this value decreased gradually as the depth of the levels decreased; however, some of these differences were not significant.

The high occurrence of swordfish in catches at the deepest hooks concur with results obtained in acoustic telemetry studies by authors such as Carey (1990) and Block (1990),

**Tabla 2.** Datos utilizados para el cálculo de la profundidad teórica de operación del palangre.  
**Table 2.** Data used to calculate the theoretical operating depth of the longline.

Velocidad del barco	8.0 kn (nudos)
Velocidad de la maquinilla tiralíneas*	5.25 m/s
Distancia entre reinales	42 m
Longitud entre orinques	252 m
Longitud del orinque	12 m
Longitud del reinal	22 m

\* La velocidad de la máquina o salida de la línea madre se obtuvo midiendo una sección y dividiendo entre el tiempo utilizado en el lance de la misma.

**Tabla 3.** Profundidades calculadas y medidas durante la operación del palangre.  
**Table 3.** Depths calculated and measured during the operation of the longline.

No. de anzuelo	Profundidad calculada	Profundidad medida		
		Mínima	Promedio	Máxima
1, 5	73.2	53.7	61.4	66.2
2, 4	96.7	43.6	76.4	98.4
3	104.6	57.3	87.4	108.7

De acuerdo con lo observado en la tabla 3, la profundidad calculada con el método propuesto parece ser una estimación de la profundidad a la que operarían los anzuelos bajo condiciones ideales; esto es, sería la profundidad de operación en ausencia de fuerzas ajenas a la gravedad que provocan la deformación de la parábola formada por la línea madre. De acuerdo con los resultados (tabla 3), la estimación corresponde a la máxima profundidad de operación de los anzuelos. Los cambios observados en la profundidad medida pueden ser debidos a diversos factores, como el efecto de corrientes y tensiones provocadas por los mismos organismos capturados que, al parecer, de manera sesgada tienden a provocar que la operación del equipo sea más superficial.

#### Composición de las capturas

La composición específica de la captura obtenida en el crucero se presenta en la tabla 4. En la tabla 5 se resume la cantidad de organismos

and with the results of Ueyanagi (1974) for nocturnal longline operations. According to these authors, this species occurs at depths deeper than 100 m, and may explain its catch at the deepest hook.

According to Holts and Bedford (1990), the striped marlin carries out periodic vertical movements; during the day it occurs at deeper depths than during the afternoon and night. The results indicate a greater occurrence at hook number 3 and a decrease in the catch index at the hooks operating in shallower waters. The operation schedule may have influenced this stratification, since the longline was set during the day when, according to that reported, the striped marlin occurs in deep waters.

The blue shark catch was also significantly greater at the deepest hook.

The catch values obtained for the blacktip shark, yellowfin tuna, scalloped hammerhead and sailfish are shown in table 7b. The highest average catches of blacktip shark were recorded for the deepest hook, and one of the cases

**Tabla 4.** Composición específica de la captura obtenida durante el crucero del buque pesquero *Tiburón III*.**Table 4.** Specific composition of the catch obtained for the cruise of the fishing vessel *Tiburón III*.

Especie	Número	Porcentaje
Tiburón zorro ( <i>Alopias pelagicus</i> )	929	41.82
Tiburón azul ( <i>Prionace glauca</i> )	602	27.10
Tiburón volador ( <i>Carcharhinus limbatus</i> )	193	8.68
Tiburón martillo ( <i>Sphyrna lewini</i> )	50	2.25
Marlin rayado ( <i>Tetrapturus audax</i> )	205	9.23
Pez vela ( <i>Istiophorus platypterus</i> )	57	2.56
Pez espada ( <i>Xiphias gladius</i> )	78	3.51
Atún aleta amarilla ( <i>Thunnus albacares</i> )	88	3.96
Total	2202	99.14

**Tabla 5.** Datos de capturas observadas por número de anzuelo.**Table 5.** Data of catches per hook number.

Especie	ANZ 1	ANZ 2	ANZ 3	ANZ 4	ANZ 5
Tiburón zorro	135	172	255	202	165
Tiburón azul	107	113	153	131	98
Tiburón volador	42	23	53	53	22
Tiburón martillo	7	17	8	7	11
Marlin rayado	26	35	56	56	32
Pez vela	8	7	15	14	13
Pez espada	5	15	32	20	6
Atún aleta amarilla	15	8	23	23	19
Tiburón mako	1	3	6	0	0
Dorado	2	0	0	1	2
Marlin azul	0	0	4	0	0
Total	348	393	605	507	368
Porcentaje	15.66	17.7	27.24	22.82	16.57

**Tabla 6.** Análisis de varianza de la composición específica (ocho especies) para las tres áreas de operación**Table 6.** Analysis of variance of the specific composition (eight species) for the three areas of operation.

Fuente	SC	g.l.	CM	Razón de varianza
Tratamientos	21.3492	2	10.6746	0.1996
Bloques	2089.7	7	298.529	
Residuo	748.479	14	53.4628	
Total	2859.53	23		$F$ de $T = 3.74$

**Tabla 7.** Número promedio de organismos capturados de cada especie por cada mil anzuelos en los tres niveles de operación del palangre y resumen del análisis de varianza por área. El sombreado de las columnas representa diferencias significativas en los promedios de captura obtenidos por nivel. (a) TZ = tiburón zorro, PE = pez espada, MR = marlin rayado, TA = tiburón azul; (b) PV = pez vela, TV = tiburón volador, AA = atún aleta amarilla, TM = tiburón martillo. RV = razón de varianza; F.tab. = *F* de tablas.

**Table 7.** Average number of organisms caught per species for every 1000 hooks at the three levels of operation of the longline and summary of the analysis of variance per area. The shaded part of the columns represents significant differences in the average catches obtained per level. (a) TZ = pelagic thresher, PE = swordfish, MR = striped marlin, TA = blue shark; (b) PV = sailfish, TV = blacktip shark, AA = yellowfin tuna, TM = scalloped hammerhead. RV = rate of variance; F.tab. = *F* of tables.

	Lances 1 al 9				Lances 11 al 15				Lances 16 al 23				Todos			
	TZ	PE	MR	TA	TZ	PE	MR	TA	TZ	PE	MR	TA	TZ	PE	MR	TA
(a)																
Nivel 1	6.41	0.30	0.34	3.12	5.06	0.07	2.64	0.62	2.49	0.00	0.67	3.99	4.47	0.13	0.94	3.16
Nivel 2	8.96	0.81	0.72	3.75	6.21	0.91	3.79	1.66	3.46	0.04	0.79	5.00	6.06	0.56	1.38	3.90
Nivel 3	13.00	1.79	1.31	4.82	6.55	1.09	3.94	3.35	4.14	0.09	1.26	5.14	7.97	0.97	1.81	4.73
RV	11.75	6.58	8.81	5.09	1.97	3.16	3.14	32.95	5.92	1.00	1.46	6.99	12.88	7.93	9.45	14.99
F.tab.	3.63				4.46				3.74				4.07			
(b)																
Nivel 1	0.43	0.19	0.76	0.71	0.41	0.00	0.07	0.00	0.19	2.27	0.54	0.04	0.33	0.87	0.53	0.29
Nivel 2	0.26	0.30	0.49	0.60	0.48	0.41	0.42	0.00	0.32	3.44	0.64	0.25	0.32	1.41	0.54	0.34
Nivel 3	0.15	0.76	0.83	0.59	0.81	0.41	0.14	0.14	0.73	3.89	0.98	0.09	0.49	1.74	0.70	0.29
RV	6.58	1.05	0.82	0.13	2.04	2.33	1.00	1.00	5.45	3.54	3.15	1.59	1.62	4.93	0.83	0.10
F.tab.	3.63				4.46				3.74				4.07			

capturados, por especie, en cada posición del anzuelo. En la tabla 6 se presenta el ANDEVA sobre la composición específica por área de operación y en la tabla 7 se muestra el número promedio de organismos capturados por cada mil anzuelos para cada una de las especies en cada cuadrante donde se realizaron los lances, incluyendo un resumen del ANDEVA.

En la tabla 7a se aprecia que el tiburón zorro, el pez espada, el marlin rayado y el tiburón azul presentaron siempre la mayor captura promedio en el nivel 3, disminuyendo este valor de manera gradual para los niveles más someros; sin embargo, estas diferencias en algunos casos no fueron significativas.

Para el pez espada, la mayor incidencia de sus capturas en el anzuelo más profundo concuerda con los resultados obtenidos en estudios de telemetría acústica desarrollados por autores como Carey (1990) y Block (1990), y con los estudios de Ueyanagi (1974) relativos a operaciones nocturnas del palangre. De acuerdo con estos autores, esta especie se encuentra a profundidades superiores a los 100 m, lo que puede explicar su captura en el anzuelo más profundo.

De acuerdo con Holts y Bedford (1990), el marlin rayado tiene un comportamiento de movimientos verticales periódicos, en los que durante el día se encuentra a mayores profundidades que durante la tarde y la noche. Los resultados mostraron una mayor incidencia en el anzuelo número 3 y una disminución del índice de captura hacia los anzuelos que operaron en aguas más someras. Posiblemente el horario de operación influyó en esta estratificación, ya que el palangre se tendió durante el día cuando, de acuerdo con lo reportado, el marlin se encuentra en aguas profundas.

El tiburón azul presentó también una mayor captura en el anzuelo más profundo de forma significativa.

Los valores de captura obtenidos para el tiburón volador, el atún aleta amarilla, el tiburón martillo y el pez vela se presentan en la tabla 7b. Para el tiburón volador, los promedios de captura más altos se obtuvieron en el anzuelo más profundo, siendo significativa la diferencia para uno de los casos considerados; mientras que las otras especies no presentaron

analizado que fue significativamente diferente. Las otras especies, sin embargo, no mostraron un patrón definido de ocurrencia y no hubo diferencias significativas con respecto al nivel analizado.

## CONCLUSIONS

1. The method proposed to estimate the operating depth of the hooks on a longline only calculates the maximum operating depth; however, it does provide an objective and more accurate estimate of the depth at which the hooks operate.
2. The results obtained suggest that the specific composition of the catches is affected by the differences in operating depth of the hooks within a same section of longline, which are produced by the catenary line that is formed by the main line during the setting process.
3. The pelagic thresher, blacktip shark, swordfish and striped marlin presented significant differences in occurrence at the different levels of operation analyzed; the value of the CPUE index increased as the operating depth increased. This suggests that catches of these organisms as well as the total catch could increase with a longer main line in each section and with the proportional increase in the number of hooks per section.

It should be noted that the results obtained in this study are valid for the geographic areas and the period analyzed, and could vary for different areas and season.

English translation by Jennifer Davis.

---

un patrón de incidencia definido y las diferencias observadas no fueron significativas al nivel considerado.

## CONCLUSIONES

1. El método propuesto para estimar la profundidad de operación de los anzuelos de un

palangre solamente calcula la profundidad máxima de operación; sin embargo, esta medida proporciona una estimación objetiva y con mayor certidumbre de la profundidad a la que operan los anzuelos en este tipo de arte de pesca.

2. Los resultados obtenidos sugieren que la diferencia en la profundidad de operación de los anzuelos, en la misma sección del palangre producida por la catenaria, formada por la línea madre durante el proceso de tendido, influye en la composición específica de las capturas.
3. Las especies tiburón zorro, tiburón volador, pez espada y marlin rayado presentaron diferencias significativas en su incidencia en los diferentes niveles de operación analizados, incrementando el valor del índice de CPUE conforme se incrementó la profundidad de operación. Este resultado sugiere que las capturas de estos organismos y la captura total podrían incrementarse con el incremento de la longitud de la línea madre en cada sección y con el incremento proporcional del número de anzuelos por sección.

Cabe señalar que los resultados obtenidos en este trabajo son válidos para las áreas geográficas y los periodos analizados, y podrán variar con los cambios de zona y temporalidad.

## REFERENCIAS

- Beardsley, G.L., Merret, Jr. N.R. and Richards, W.J. (1975). *Synopsis of the biology of the sailfish *Istiophorus platypterus** (Shaw & Nodder, 1971). NOAA Tech. Rep. NMFS. Proc. International Billfish Symp. Kailua-Kona, Hawaii, 9-12 August 1972. Part 1. Report of the Symposium, pp. 95-120.
- Block, B.A. (1990). Physiology and ecology of brain and eye heaters in billfishes. In: Planning the future of billfishes. Proc. 2nd International Billfish Symp. Kailua-Kona, Hawaii. 1-5 August 1988. Part 2. National Coalition for Marine Conservation, pp. 123-136.
- Burden, L.R. y Faires, J.D. (1985). Análisis Numérico. 3ra ed. PWS, Boston. Vers. en español, Trad. por Simon Mochon. Harvard Univ. y Esc. Sup. de Fisicomatemáticas-IPN, pp. 40-45.
- Carey, G. (1990). Further acoustic telemetry observations of swordfish. In: S.S. Richards and W.D. Francis (eds.), *Planning the Future of Billfishes*. Proc. International Billfish Symp. Kailua-Kona, Hawaii, 9-12 August 1972. Part 1. Report of the Symposium, pp. 31-45.
- Collette, B.B. and Nauen, C.E. (1983). *FAO Species Catalogue. Vol. 2. Scombrids of the World. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date*. FAO Fish. Synop., 2(125): 137 pp.
- Compagno, L.J.V. (1984). *FAO Species Catalogue. Vol. 4. Sharks of the World. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 1 and Part 2. Hexanchiformes to Lamniformes and Carcharhiniformes*. FAO Fish. Synop., 655 pp.
- Diario Oficial de la Federación (1987). Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, 28 de agosto de 1987, pp. 96-101.
- Holts, B.D. (1988). Review of US West Coast Commercial Shark Fisheries. Southwest Fisheries Center, National Marine Fisheries Service. NOAA, La Jolla, California, 8 pp.
- Holts, B.D. and Bedford, D. (1990). Activity patterns of striped marlin in the southern California Bight. In: *Planning the Future of Billfishes*. Proc. 2nd International Billfish Symp. Kailua-Kona, Hawaii. 1-5 August 1988. Part 2. National Coalition for Marine Conservation, pp. 81-93.
- Lokkeborg, S. and Bjordal, A. (1992). Species and size selectivity in longline fishing: a review. *Fish. Res.*, 13: 311-322.
- Macías, Z.R. (1993). Relaciones entre la pesca deportiva y comercial del pez vela (*Istiophorus platypterus*) en el Pacífico mexicano. Tesis de maestría, CICIMAR-IPN, México, 71 pp.
- Miyabe, N. y Bayliff, W.H. (1987). *Un examen de la pesca palangrera japonesa de atunes y peces espada en el Océano Pacífico oriental, 1971-1980*. Inter. Am. Trop. Tuna Comm. Bull., (1): 123-159.
- Steel, G.R. y Torrie, H.J. (1988). *Principios y Procedimientos de Bioestadística*. 2a ed. McGraw-Hill Interamericana, México, 622 pp.
- Ueyanagi, S. (1974). A review of the world commercial fisheries for billfishes. In: R.S. Shomura and S. Williams (eds.), *Proc. International Billfish Symp. Kailua-Kona, Hawaii. 9-12 August 1972*. Part 2. NOAA Tech. Rep., NMFS SSRF-675: 1-11.

**APÉNDICE 1: Desarrollo de la ecuación que representa la longitud de la línea madre**  
**APPENDIX 1: Development of the equation that represents the length of the mother line**

El método propuesto se basa en el supuesto de que la forma de la catenaria producida por la línea madre en una sección se aproxima a una parábola y puede ser descrita para fines prácticos por la función:

$$Y = aX^2 \quad (1)$$

donde  $Y$  es la variable dependiente,  $X$  una variable independiente y  $a$  una constante de proporcionalidad. Al dividir la longitud de la línea madre en una sección  $\ell$  (fig. 2) en elementos de longitud  $\Delta\ell$  lo suficientemente pequeños para suponerlos rectos, se tiene:

$$\Delta\ell = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (2)$$

De forma que la sumatoria de todos los elementos de longitud  $\Delta\ell$  será igual a la longitud  $\ell$  de la línea madre:

$$\ell = \sum_{i=1}^n \Delta\ell_i = \sum_{i=1}^n \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2} \quad (3)$$

Si los incrementos se hacen infinitamente pequeños, esto es, se lleva al límite la sumatoria, resulta:

$$\ell = \int_{-d/2}^{d/2} dl = \int_{-d/2}^{d/2} \sqrt{dX^2 + dY^2} \quad (4)$$

Aplicando la suposición de que la ecuación que describe la forma de la línea madre es una parábola:

$$Y = ax^2 \\ \Rightarrow dY = 2axdx$$

Sustituyendo y desarrollando:

$$l = \int_{x=-d/2}^{x=d/2} \sqrt{dx^2 + (2axdx)^2}$$

$$l = \int \sqrt{dx^2 + 4a^2 x^2 dx^2}$$

$$l = \int \sqrt{(1 + 4a^2 x^2) dx^2}$$

$$l = \int \sqrt{(1 + 4a^2 x^2) dx}$$

Haciendo un cambio de variable e integrando:

$$u = 2ax$$

$$du = 2adx$$

$$dx = \frac{du}{2a}$$

$$l = \int \sqrt{1 + u^2} \frac{du}{2a}$$

$$l = \frac{1}{2a} \int \sqrt{(u^2 + 1)} du$$

$$l = \frac{1}{2a} \left[ \frac{u}{2} \sqrt{u^2 + 1} + \frac{1}{2} \ln(u + \sqrt{u^2 + 1}) \right]$$

Sustituyendo la variable original:

$$l = \frac{1}{2a} \left[ \frac{2ax}{2} \sqrt{4a^2 x^2 + 1} + \frac{1}{2} \ln(2ax + \sqrt{4a^2 x^2 + 1}) \right]$$

$$l = \left[ \frac{x}{2} \sqrt{4a^2 x^2 + 1} + \frac{1}{4a} \ln(2ax + \sqrt{4a^2 x^2 + 1}) \right] \Big|_{x=-d/2}^{x=d/2}$$



Evaluando entre los límites  $x = -d/2$  y  $x = d/2$ :

$$\begin{aligned} \ell &= \left[ \frac{d/2}{2} \sqrt{4a^2 \frac{d^2}{4} + 1} + \frac{1}{4a} \ln \left( 2a \frac{d}{2} + \sqrt{4a^2 \frac{d^2}{4} + 1} \right) \right] \\ &\quad - \left[ \frac{-d/2}{2} \sqrt{4a^2 \frac{d^2}{4} + 1} + \frac{1}{4a} \ln \left( -2a \frac{d}{2} + \sqrt{4a^2 \frac{d^2}{4} + 1} \right) \right] \\ \ell &= \frac{d}{4} \sqrt{a^2 d^2 + 1} + \frac{1}{4a} \ln(ad + \sqrt{a^2 d^2 + 1}) + \frac{d}{4} \sqrt{a^2 d^2 + 1} - \frac{1}{4a} \ln(-ad + \sqrt{a^2 d^2 + 1}) \\ \ell &= \frac{d}{2} \sqrt{a^2 d^2 + 1} + \frac{1}{4a} [\ln(ad + \sqrt{a^2 d^2 + 1}) - \ln(-ad + \sqrt{a^2 d^2 + 1})] \\ \ell &= \frac{d}{2} \sqrt{a^2 d^2 + 1} + \frac{1}{4a} \ln \left( \frac{ad + \sqrt{a^2 d^2 + 1}}{-ad + \sqrt{a^2 d^2 + 1}} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Esta última expresión representa la longitud de la línea madre en función del parámetro  $a$  de la ecuación de la parábola y de la distancia  $d$  entre boyas en la superficie.

**APÉNDICE 2: Estructura básica del programa**  
*APPENDIX 2: Basic structure of the program*

ENTRADA: Longitud de orinque: ORINQUE (en metros); longitud de reinal: REINAL (en metros); número de anzuelos: ANZUELOS; tiempo transcurrido entre la salida de un reinal y otro (en segundos): T; velocidad de la maquinilla tiralíneas: MAQ (metros/segundo); velocidad del barco: KN (en nudos).

SALIDA: Profundidad de operación de los anzuelos.

**Paso 1.** Tomar  $vel = KN * 0.514$

$$L1 = T * MAQ$$

$$L2 = T * MAQ * (anzuelos + 1)$$

$$d = T * vel * (anzuelos + 1)$$

$$p1 = 0$$

$$p2 = 10$$

**Paso 2.** Para  $i = 1, 2, 3, \dots, 1000$

**Paso 3.** Tomar  $a = p1 + (p2 - p1) / 2$

$$u = \text{SQR}(a^2 * d^2 + 1)$$

$$t1 = 4 * a * (L2 - (u * d / 2))$$

$$t2 = \text{Log}((u + a * d) / (u - a * d))$$

**Paso 4.** Si el valor absoluto de  $(t2 - t1) < 0.00001$  entonces SALIDA  
PARAR

**Paso 5.** Si  $(t2 - t1) < 0$  entonces tomar  $p1 = a$ , si no tomar  $p2 = a$

**Paso 6.** Tomar  $i = i + 1$

**Paso 7.** SALIDA (se realizaron  $i$  iteraciones)

Para  $j = -d/2, \dots, d/2$  en pasos de  $d/(anzuelos + 1)$

Tomar  $anz = anz + 1$

$$\text{profundidad} = \text{profmax} - (a * x^2) + \text{orinque} + \text{reinal}$$

imprimir anzuelo, profundidad

Tomar  $j = j + 1$