

Modelo espacialmente explícito de la migración estacional del pez vela (*Istiophorus platypterus*) en el Pacífico mexicano

Spatial explicit model for seasonal migration of sailfish (*Istiophorus platypterus*) in the Mexican Pacific

René Macías-Zamora,¹ Aramis Olivos-Ortiz,²
Ana Luisa Vidaurri-Sotelo,¹ Miguel Ángel Carrasco-Águila¹
y Ernesto Torres-Orozco²

¹Centro Regional de Investigación Pesquera de Manzanillo. Playa Ventanas s/n Carretera Manzanillo-Campos. Manzanillo, Colima. 28200. México

²Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas. Universidad de Colima. Carretera Manzanillo-Barra de Navidad Km 19.5. Colonia El Naranjo. Manzanillo, Colima. 28860
e-mail: aramis.olivos@gmail.com

Macías-Zamora R., A. Olivos-Ortiz, A. L. Vidaurri-Sotelo, M. Á. Carrasco-Águila y E. Torres-Orozco. 2011. Modelo espacialmente explícito de la migración estacional del pez (*Istiophorus platypterus*) vela en el Pacífico mexicano. *Hidrobiológica* 21(2): 126-134.

RESUMEN

Utilizando los datos de captura y esfuerzo registrados en la pesca deportiva realizada en los puertos de Mazatlán, Sinaloa y Buena Vista, Baja California Sur, México, durante los periodos 1979-2005 y 1985-2006 respectivamente, se construyó un año "tipo" o promedio, y se elaboró un modelo espacial determinístico en tiempo discreto para simular los movimientos masivos estacionales que realiza el pez vela (*Istiophorus platypterus*) en la Zona Económica Exclusiva del Pacífico mexicano. Los parámetros del modelo fueron los índices de migración, que definen los movimientos, los cuales se estimaron minimizando las diferencias al cuadrado entre lo pronosticado por el modelo y la captura por unidad de esfuerzo (número de organismos por viaje) observada en la pesca deportiva en el año "tipo". Los resultados son consistentes con la existencia de un sólo stock en la región, que realiza desplazamientos costeros latitudinales durante el verano, desde un punto al sur del Pacífico mexicano, en dirección norte hasta el Golfo de California, para después regresar nuevamente al sur al final de esta temporada. Se apreció un mejor ajuste del modelo cuando se simuló una mortalidad de 0.019 veces la abundancia por día para la región norte del Pacífico mexicano (equivalente a $z = 0.013/\text{mes}$). Este escenario es consistente con los patrones migratorios conceptuales anteriormente reportados, debido a esto se considera que el modelo propuesto puede ser una herramienta útil para predecir variaciones en las abundancias regionales y en general para elucidar el comportamiento del stock.

Palabras clave: Pez vela, *Istiophorus platypterus*, migración, modelo espacialmente explícito, Pacífico mexicano.

ABSTRACT

Using catch and effort data recorded in sport fishing conducted in the ports of Mazatlan, Sin. and Buena Vista, BCS, Mexico, during 1979-2005 and 1985-2006, respectively, build a year "type" or average, and developed a deterministic model in discrete time space to simulate the seasonal mass movements that perform the sailfish (*Istiophorus platypterus*) in the Exclusive Economic Zone of the Mexican Pacific. The model parameters are the migration rates that define the movements, which were estimated by minimizing the squared differences between predicted by the model and the catch per unit effort (number of organisms per trip) observed in sport fishing in typical year. The results are consistent with the existence of a single stock in the region, which conducts coastal latitudinal displacement during the summer from a point south of the Mexican Pacific, toward the north in direction to the Gulf of California, and then returning to

the south at the end this season. It shows a better fit of the model when simulating a mortality rate of 0,019 times per day abundance for the northern Mexican Pacific (equivalent to $z = 0.013/\text{month}$). This scenario is consistent with previously reported conceptual migration patterns, due to this it is considered that the proposed model can be a useful tool for predicting changes in regional abundance and in general to elucidate the behavior of the stock.

Key words: Sailfish, *Istiophorus platypterus*, migration, spatially explicit model, Mexican Pacific.

INTRODUCCIÓN

El pez vela (*Istiophorus platypterus* Shaw & Nodder, 1971) se distribuye en las regiones tropicales y subtropicales de los océanos Índico y Pacífico (Nakamura, 1985). Skillman (1989) concluye que para esta especie existen tres stocks diferentes en el Océano Pacífico, dos en el Pacífico oeste y uno en el Pacífico este. En el Pacífico mexicano sus mayores índices de abundancia se registran al sur de los 25° N, y al este de los 110° W y al igual que muchos otros pelágicos mayores como el atún, tiburón y otras especies de peces de pico, se considera una especie altamente migratoria, de forma que los movimientos latitudinales periódicos de sus poblaciones se presentan como cambios temporales en los indicadores de abundancia en los puntos geográficos donde son objeto de pesca (Beardsley *et al.*, 1975).

Los cambios periódicos de abundancia, influidos por variaciones ambientales de menor frecuencia que la estacional, son interpretados por los pescadores deportivos y los prestadores de servicios asociados a esta actividad, como síntomas de agotamiento del recurso, por lo que, los cambios en abundancia relacionados a las variaciones en la distribución geográfica o migraciones de las especies explotadas deberían incluirse en las evaluaciones de su población así como en su administración. También es importante conocer y cuantificar los mecanismos que rigen estos cambios, y su representación en los métodos de análisis de las especies de organismos pelágicos. Los modelos en su forma más general son representaciones físicas o abstractas de la estructura y la función de sistemas existentes, son herramientas para una percepción simplificada que ayuda al estudio de un sistema (Odum, 1982). Dentro de éstos, los modelos espacialmente explícitos son aquellos que simulan un sistema concreto, y se utilizan cuando alguna de sus variables en el tiempo depende del espacio y éste se representa en forma de mapa o cuadrícula (Zavala *et al.*, 2006).

En estudios orientados a la evaluación del nivel de explotación del pez vela en el Pacífico mexicano se han utilizado los modelos globales de producción excedente (Anónimo, 1987; Skillman, 1989), y se han realizado estudios sobre la base de indicadores del efecto del esfuerzo pesquero en el recurso (Squire & Au, 1989; Macías, 1993; Macías *et al.*, 1993). Estos modelos que se han aplicado en distintos periodos y bajo distintas premisas se asume que las condiciones de crecimiento individual, mortalidad y reclutamiento entre otros, son homogéneos para toda el área de distribución de una población, sin embargo se sabe que en esta

área procesos tanto denso-dependientes como independientes están afectando las poblaciones a una escala espacial de cientos de kilómetros y pueden afectar significativamente los procesos poblacionales tales como interacciones tróficas, mortalidad, etc. (Brand *et al.*, 1992). Por otra parte, existen los modelos tradicionalmente usados para la evaluación de stocks pesqueros que se basan en relaciones estadísticas que no incorporan la heterogeneidad ambiental o cambios en las características ambientales que corresponden frecuentemente a características del medio marino (Butler IV, 2003).

Prince *et al.* (2006) realizó marcado y seguimiento satelital de 41 peces vela para evaluar cuestiones relativas al manejo de la especie en la región del Océano Pacífico en Centro América (incluyendo México). Las 32 marcas que transmitieron datos fueron recuperadas después de un desplazamiento entre 39 a 1,059 km, con monitoreos de 5 a 118 días. El 68% de los organismos marcados realizaron desplazamientos fuera de las aguas de los países de marcado, concluyendo que este recurso requiere un manejo regional, más que un manejo definido por límites nacionales.

En este trabajo se plantea: a) la elaboración de un modelo de simulación espacialmente explícito para representar cuantitativamente los movimientos latitudinales realizados por el pez vela durante un ciclo anual, que deberá ser consistente con los indicadores de abundancia observados y explicar de forma coherente los cambios geográficos de dicho índice en la costa del Pacífico mexicano para; b) a través de este modelo; dilucidar la dinámica de la migración así como; c) cuantificar, al menos parcialmente, la mortalidad asociada al esfuerzo pesquero, lo que potencialmente sería una herramienta para el manejo del recurso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizó información relativa a la captura (en número de organismos) y esfuerzo (en número de viajes) obtenidos en la pesquería deportiva cotidiana realizada en Mazatlán, Sinaloa durante el período 1979-2005 y en Buenavista, Baja California Sur de 1985 a 2006. De forma que la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) utilizada como indicador de abundancia, tuvo como unidades el número de organismos por viaje de pesca realizado.

Modelación. La modelación se realizó mediante el lenguaje de programación Mat Lab versión 7.1. Con objeto de iniciar la construcción del modelo, la región localizada entre los 10° y 32° N

y los 85° y 125° W, superficie que incluye a la Zona Económica Exclusiva Mexicana (ZEEM) en el Océano Pacífico, se dividió en sub-áreas de medio grado de latitud por medio grado de longitud, proceso que produjo un total de 4,000 celdas. Para representar la heterogeneidad ambiental, esto es, la variabilidad espacial de las características oceanográficas en dicha región, a cada una de estas unidades se le asignó un valor discreto cada 0.2 unidades en el intervalo cerrado [0, 1], de la siguiente manera: para las unidades secas (localizadas sobre el continente, con más del 50% de tierra) se les asignó un valor de 0. Para las celdas oceánicas, se utilizó el reporte de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) (Miyabe & Bayliff, 1987), del cual se obtuvo la distribución de las capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) de la flota palanquera comercial (número de organismos/100 anzuelos), este índice de abundancia se asumió como el reflejo de la heterogeneidad ambiental de la región. Por tanto a las celdas que presentaron los valores más altos de CPUE, se les asignó un valor de 1, mientras que a las restantes se les asignaron valores de 0.8, 0.6, 0.4 y 0.2 suponiendo una proporcionalidad en relación a sus índices de abundancia históricos (Tabla 1).

El valor asignado se puede interpretar como la probabilidad de encontrar la presencia de peces vela en esa unidad de área particular (matriz de probabilidades de tamaño 50 × 80).

Para iniciar la simulación, se ubicó una población inicial tomando como base la distribución geográfica del índice de abundancia CPUE reportada por Miyabe y Bayliff, 1987 para el primer trimestre del año en la región norte de la ZEEM durante la temporada 1971-1980. De forma que a 45 unidades de área (localizadas en la boca del Golfo de California y frente a los Puertos de Mazatlán, Vallarta y Manzanillo) se les asignaron valores que representaban un número de organismos presentes (diferente de 0) al inicio de la simulación (matriz de abundancias con tamaño 50 × 80).

De igual manera, para regular cuantitativamente los movimientos latitudinales, se generó una matriz inicial del índice de migración, con tamaño 12 × 4, y se asignó un valor para cada mes del año (enero, febrero, ..., diciembre) y para cada dirección

Tabla 1. Valores numéricos del índice de heterogeneidad asignado a cada celda oceánica de acuerdo al índice de abundancia histórica.

| Índice de Abundancia (No. de organismos/100 anzuelos) | Índice de heterogeneidad |
|---|-----------------------------|
| CPUE = 0 | 0.2 |
| 0.01 < CPUE ≤ 0.25 | 0.4 |
| 0.26 < CPUE ≤ 0.50 | 0.6 |
| 0.51 < CPUE ≤ 2.00 | 0.8 |
| CPUE > 2.01 | 1 |

(norte, sur, este y oeste). Este índice de migración representó la fracción de la población presente en una celda que se mueve en cada dirección. De acuerdo a lo mencionado por Kume & Joseph (1969), Shingu *et al.* (1974) y Miyabe y Bayliff (1987), quienes reportan mayores índices de abundancia en la región norte de la ZEEM durante el segundo y tercer trimestre del año (aproximadamente seis meses al año). Como valores iniciales, las componentes en cada dirección se estimaron suponiendo que en los meses de marzo a agosto, la tendencia de la especie es de migrar hacia latitudes altas, de forma que las fracciones que se mueven hacia el norte y al oeste son proporcionales a la relación de cambio norte-oeste de la costa, esto es, el vector de movimiento de los organismos es paralelo a la costa. De acuerdo a los patrones reportados por estos autores, se supuso que durante seis meses los organismos se mueven hacia latitudes altas, y durante otros seis se desplazan hacia el sur. De acuerdo a Skillman (1989) en el Pacífico este existe un solo stock de organismos de esta especie, sin evidencia de movimientos mayores entre regiones, por lo que se estableció la condición de que los índices que definen el movimiento hacia el norte-oeste sean, en promedio, de igual magnitud que los utilizados para el movimiento en dirección sur-este, con objeto de que, durante la simulación, el número de organismos desplazados hacia la región norte sea igual a los que viajan nuevamente a la región centro-sur.

Así, la abundancia en una sub-área en particular, en el tiempo $t + 1$, medida en número de organismos, dependerá de la abundancia en esa unidad en el tiempo t , menos los organismos que emigren hacia las unidades de área vecinas, más los organismos que inmigren a ésta llegando de las áreas vecinas. La magnitud de estos flujos es directamente proporcional a los valores del índice de probabilidad de presencia asignados a la sub-área en cuestión y las cuatro sub-áreas vecinas según las siguientes expresiones:

$$NB(lat, lon, t + 1) = NB(lat, long, t) - Emigra + Inmigra$$

$$Emigra = NB(lat, long, t) * IM(mes,1) * p(lat + 0.5, long) + NB(lat, long, t) * IM(mes,2) * p(lat - 0.5, long) + NB(lat, long, t) * IM(mes,3) * p(lat, long + 0.5) + NB(lat, long, t) * IM(mes,4) * p(lat, long - 0.5)$$

$$Inmigra = NB(lat - 0.5, long, t) * IM(mes,1) * p(lat, long) + NB(lat + 0.5, long, t) * IM(mes,2) * p(lat, long) + NB(lat, long - 0.5, t) * IM(mes,3) * p(lat, long) + NB(lat, long + 0.5, t) * IM(mes,4) * p(lat, long)$$

Donde:

$NB(lat, long, t)$ = Número de organismos en la sub-área de latitud "lat" y longitud "long" en el tiempo "t".

$IM(mes, i)$ = Índice de migración en la dirección "i" durante el "mes" (donde la dirección 1 = Norte, 2 = Sur, 3 = Este y 4 = Oeste).

$p(lat, long)$ = Índice de probabilidad de ocurrencia de organismos en la celda con latitud "lat" y longitud "long".

Considerando la capacidad de desplazamiento de los organismos a partir del desfase temporal de los picos de abundancia observados en los puertos de Mazatlán y Buenavista en relación a la distancia que separa estas localidades, se dividió cada mes en 15 unidades de tiempo, unidades en las cuales ocurría solo una vez el proceso de migración para cada unidad de área.

Con la información observada de esfuerzos y capturas, y asumiendo que la captura por unidad de esfuerzo es proporcional a la abundancia, se graficó éste índice a lo largo del año, calculando el valor promedio de la captura, esfuerzo y CPUE observada para cada mes en toda la serie histórica. Así se obtuvo un año "tipo" o promedio para cada puerto considerado. Dado que los conteos de abundancia obtenidos por el modelo son índices de abundancia relativos a la población, son igualmente proporcionales a la CPUE, de manera que el factor de proporcionalidad utilizado para hacerlos numéricamente comparables, no es exactamente el factor de capturabilidad "q" el cual no es un parámetro a estimar en este modelo.

El modelo se corrió de manera iterativa para los 12 meses del año, de esta manera los valores de la matriz inicial del índice de migración se optimizaron, minimizando la suma de las diferencias al cuadrado entre el índice de abundancia simulada frente los puertos de Mazatlán y Buenavista, y los valores promedio de CPUE observados durante el año "tipo" para estos mismos puertos.

La superficie donde se contabilizó la abundancia simulada por el modelo fue la localizada entre los 21.5° y 23.5° N y los 106° y 108° W para Mazatlán y entre los 23° y 25° N y los 109 y 110° W para Buena Vista. Después de que se ajustó el modelo, la mortalidad se estimó como la proporción de organismos que fue necesario extraer en la región ubicada al norte de Mazatlán a fin de que la simulación reprodujera la diferencia en la altura de los picos de abundancia que se presentan en dicha localidad. Esta fracción se aplicó mensualmente a lo largo del año en forma proporcional al esfuerzo promedio observado en la localidad de Buenavista. Se estableció que la captura de organismos se llevaría a cabo en una región de un grado de longitud por un grado de latitud limitada por los paralelos 24° y 25° y los meridianos 109° y 110°.

Es necesario señalar que al momento de construir un año "tipo" a partir de los promedios de las capturas por un periodo superior a 20 años, se eliminan las variaciones interanuales como las asociadas al ENSO o La Niña, por lo que el modelo no contempla parámetros orientados a reproducir fenómenos oceanográficos de esta naturaleza.

Para estimar la mortalidad se utilizó la siguiente expresión (Sparre *et al.*, 1989):

$$N_t = N_0 e^{-zt}$$

Donde:

N_t = Número de organismos al tiempo "t"

N_0 = Número original de organismos.

z = Tasa instantánea de mortalidad total.

Despejando el valor de "z" se obtiene la relación:

$$z = \frac{-\ln\left(\frac{N_t}{N_0}\right)}{t}$$

Cuando el tiempo es igual a 1 año (t = 1):

$$z = -\ln\left(\frac{N_1}{N_0}\right)$$

De esta forma la tasa de mortalidad "z" se obtuvo considerando N_0 como el número de organismos introducidos como población inicial distribuida en la zona del experimento y N_t el número de organismos sobrevivientes después de un año de simulación. Dicha mortalidad, como se mencionó anteriormente, se aplicó exclusivamente para la fracción de la población que alcanza a llegar frente a la localidad de Buenavista (Baja California Sur).

RESULTADOS

En la serie histórica observada de CPUE en las localidades de Mazatlán y Buena Vista (Fig. 1), se aprecia que en ambos sitios se presenta un evidente comportamiento cíclico con periodicidad anual que, a grandes rasgos, se caracteriza por una disminución en el índice de abundancia durante los meses del invierno para repuntar durante la temporada más cálida del año.

Se aprecia que los valores del índice de abundancia en Buena Vista (Fig. 1), son consistentemente menores que los de Mazatlán. Además, se advierte que en Mazatlán se presentan normalmente dos picos de abundancia anuales. Sin embargo en la mayoría de los años se aprecia que el segundo pico es relativamente menor que el primero. Otro aspecto notable es la particularidad de que en Mazatlán persiste la presencia del recurso a lo largo de todo el año, mientras que en Buena Vista la abundancia baja a niveles cercanos a cero para el periodo entre diciembre y abril del siguiente año.

En la Figura 2 se incluyen los valores promedio mensuales del índice, para toda la serie, para los puertos de Mazatlán y Buena Vista durante el año "tipo". En forma evidente se advierte la presencia de dos picos de abundancia estacional para el puerto de Mazatlán. Siendo el primero de ellos sensiblemente mayor que el segundo.

En la Figura 3 se presentan las estimaciones del modelo para un escenario donde no existe mortalidad, junto con los índices de

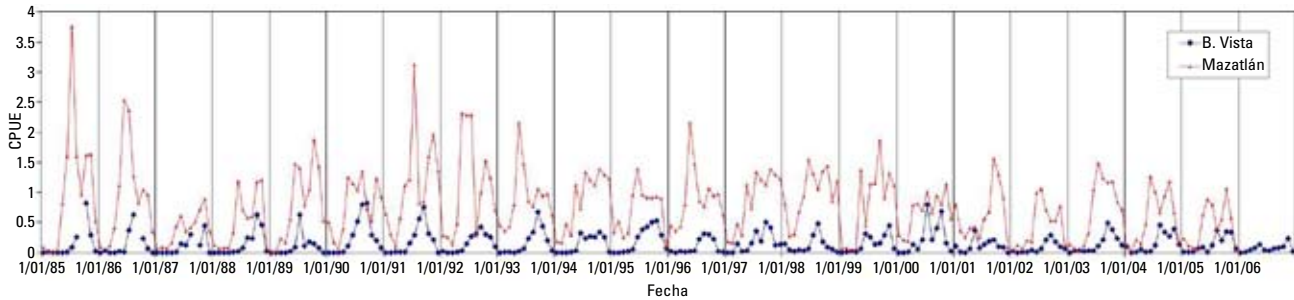


Figura 1. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) observada (en número de organismos por viaje) para pez vela en la pesca deportiva cotidiana realizada en el puerto de Mazatlán, Sinaloa para el periodo 1985-2005 (línea sin marcadores) y el Puerto de Buena Vista, Baja California Sur, durante el periodo 1985-2006 (línea con marcadores).

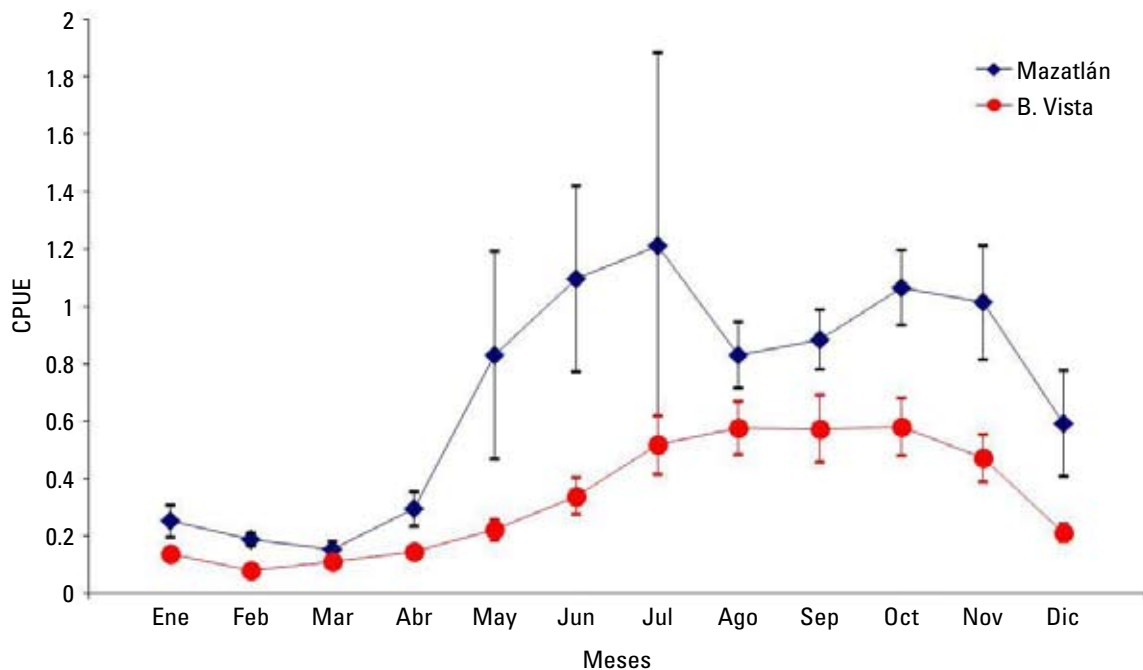


Figura 2. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) (en número de organismos por viaje) durante un año promedio en las localidades de Mazatlán Sinaloa (línea con rombos) y Buena Vista Baja California Sur (línea con círculos).

abundancia observados para los puertos de Buena Vista y Mazatlán. Para la primer parte del periodo simulado existió similitud entre los índices observados y los estimados por el modelo, siendo las tendencias observada y simulada similares ($p > 0.05$) para ambos puertos ($p = 0.74$ en el caso de Mazatlán y $p = 0.75$ en el caso de Buenavista), sin embargo, se advierte una discordancia para la altura del segundo pico de abundancia, siendo los valores estimados considerablemente superiores a los observados.

Los valores de los índices de migración mensuales en cada una de las direcciones que mejor representaron el comporta-

miento observado de la abundancia en los puertos considerados con el modelo de simulación se presentan en la Tabla 2.

Se aprecia un movimiento en dirección norte, combinado con una componente uniforme al oeste, que se inicia en el mes de marzo incrementándose durante abril, para luego disminuir durante mayo y junio, se nota un repunte en julio y una nueva disminución en agosto, mes en que finaliza el movimiento hacia el norte. En la dirección sur, también combinado con una componente al este. La migración hacia el sur se inicia en septiembre con valores de los índices relativamente pequeños que se

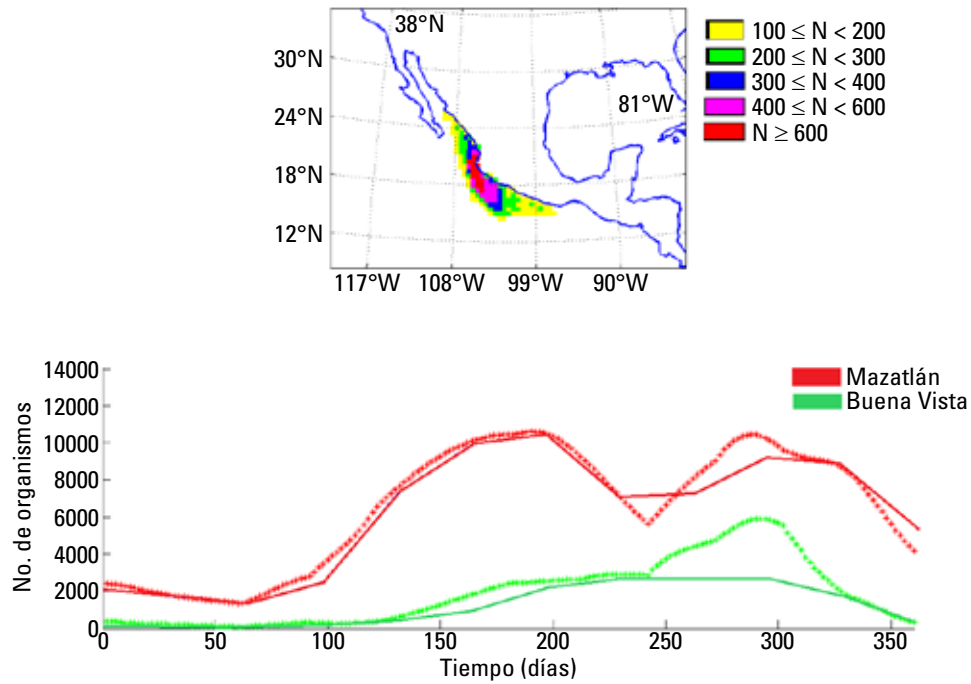


Figura 3. Índices de abundancia de pez vela estimados mediante el modelo en la pesca deportiva en Mazatlán (línea punteada roja) y Buena Vista (línea punteada verde) y valores observados para el mismo índice (líneas continuas en el mismo color) bajo un escenario sin mortalidad por pesca. El mapa en la parte superior representa las áreas de abundancia después de un año de simulación.

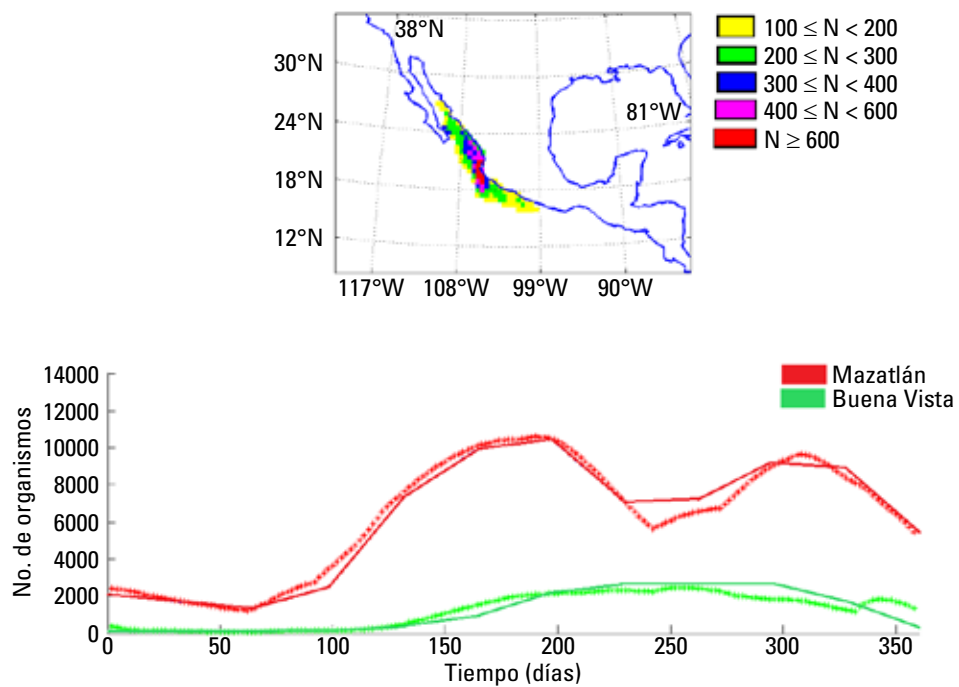


Figura 4. Índices de abundancia de pez vela observados en la pesca deportiva en Mazatlán (línea continua roja) y Buena Vista (línea continua verde) y valores estimados para el mismo índice mediante el modelo (líneas punteadas en el mismo color) bajo un escenario con mortalidad por pesca. El mapa en la parte superior representa las áreas de abundancia después de un año de simulación.

Tabla 2. Índices de migración por mes para cada dirección.

| | Norte | Sur | Oeste | Este |
|------------|-------|------|-------|------|
| Enero | 0 | 0.10 | 0 | 0.17 |
| Febrero | 0 | 0.10 | 0 | 0.17 |
| Marzo | 0.10 | 0 | 0.10 | 0 |
| Abril | 0.40 | 0 | 0.10 | 0 |
| Mayo | 0.30 | 0 | 0.10 | 0 |
| Junio | 0.30 | 0 | 0.10 | 0 |
| Julio | 0.40 | 0 | 0.10 | 0 |
| Agosto | 0.30 | 0 | 0.10 | 0 |
| Septiembre | 0 | 0.16 | 0 | 0.10 |
| Octubre | 0 | 0.22 | 0 | 0.24 |
| Noviembre | 0 | 0.30 | 0 | 0.32 |
| Diciembre | 0 | 0.26 | 0 | 0.26 |

incrementan de manera progresiva hasta alcanzar un máximo en noviembre y vuelven a disminuir durante enero y febrero cuando termina este movimiento al sur.

En la Figura 4 se presentan los resultados del modelo para un escenario donde existe mortalidad por pesca simulada en la región localizada al norte del puerto de Mazatlán, contrastados con los índices de abundancia observados para los puertos de Buena Vista y Mazatlán. Se utilizó una captura promedio de 0.019 veces la abundancia localizada en esa región por día, fracción que proporcionó el mejor ajuste a la diferencia entre las alturas de los picos observados en la zona de Mazatlán y Buena Vista.

La mortalidad simulada al ser proporcional a la abundancia local para cada día, varió en forma proporcional a tal abundancia. Dichos cambios implicaron una mortalidad que afectó desde el 0.07 % hasta el 3.6% del total de la población por mes. Durante un ciclo anual, bajo estas condiciones, la población sufriría una disminución del 14.86%, porcentaje que traducido a tasa de instantánea de mortalidad total significa un valor de $Z = 0.013/\text{mes}$ que incluye tanto la mortalidad natural como la mortalidad por pesca.

DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo, describen los niveles de captura observados en la pesca deportiva durante el fenómeno de la migración de los organismos. Dichos resultados implican la existencia de un solo stock de organismos que efectúa movimientos latitudinales periódicos masivos paralelos a la costa. Este movimiento masivo en dirección norte se empieza a detectar en Mazatlán al inicio de la primavera, alcanza un máximo en junio y se mantiene hasta el mes de agosto, cuando se detecta un mínimo relativo que se extiende hasta mediados de octubre,

fecha en la que se registra un nuevo incremento en la abundancia. Este segundo repunte, de acuerdo a los resultados del modelo, correspondería al movimiento masivo de los organismos en dirección sur. Escenario que es consistente con lo reportado por Prince *et al.* (2006), quienes describen las trayectorias seguidas por cinco peces vela marcados durante el mes de enero de 2004 en la localidad de Zihuatanejo, México, los cuales mostraron desplazamientos hacia la región sur de la ZEEM. Dichos autores concluyen que el manejo de esta especie debe ser de manera conjunta entre las naciones que comparten el recurso.

La condición establecida en el modelo de que la suma de los valores de los índices de migración en los dos sentidos fuera similar (Tabla 1), fue para buscar que no existiera un flujo neto acumulativo en alguna de las direcciones. En este sentido se aprecia que estos índices presentan un comportamiento continuo, con valores bajos al inicio, incrementándose de forma gradual para luego disminuir, de lo cual se obtuvo que el esquema de migración de los organismos durante seis meses es hacia el noroeste y en los seis meses restantes invierten su movimiento hacia el sureste.

Para la localidad de Buena Vista, a pesar de que los valores de abundancia son notablemente menores, representan en promedio 21% de los observados en Mazatlán (Fig. 2), el comportamiento del índice de abundancia es también congruente con nuestra hipótesis, ya que el modelo predice que durante los primeros meses del año existe una abundancia baja, que se mantiene los primeros cuatro meses del año (Figs. 3 y 4). A partir del quinto mes es apreciable un repunte de la CPUE que se mantiene durante los meses más cálidos del año, que sería cuando el núcleo de la población emigrante alcanza esa localidad nortea como lo menciona Nakamura (1985). Luego, de acuerdo a la Figura 4, anticipa una disminución que es posible observar solo en algunos años de la serie histórica (Fig. 1), con un repunte coincidente con el segundo pico de abundancia de la localidad de Mazatlán. Después de lo cual la abundancia decae de forma sostenida hasta el final del año y principios del siguiente, correspondiendo al movimiento masivo de organismos hacia la región sur del Pacífico mexicano, como lo mencionan algunos autores (Miyabe & Bayliff, 1987; Nakamura, 1985; Shingu *et al.*, 1974).

Las diferencias entre las alturas de los dos máximos de abundancia de los datos observados en el puerto de Mazatlán, sugieren la existencia de mortalidad de una fracción de organismos durante su travesía hacia el norte de la región, de tal manera que en su retorno se aprecia una disminución en el valor del segundo máximo. Los resultados estimados por el modelo para un escenario donde no existe mortalidad (Fig. 3), como ya se mencionó, se ajustan a los valores observados en la serie histórica en ambas regiones durante los primeros meses del año "tipo", pero existe una evidente divergencia durante el segundo máximo, especial-

mente para la localidad de Buena Vista, posiblemente producto de que el número de organismos que se mueven hacia el norte, regresan posteriormente a la región sur (Miyabe & Bayliff, 1987; Nakamura, 1985; Shingu *et al.*, 1974) en la misma cantidad, y la altura de los dos picos de abundancia tiende a ser igual, como lo supone el algoritmo incluido en la simulación. Cuando se incluyó la mortalidad en la región al norte de Mazatlán, fue evidente una mayor coincidencia entre las curvas descriptivas de los datos observados y los calculados por el modelo, para las dos regiones analizadas (Fig. 4). Particularmente para el último semestre, donde existía una considerable diferencia cuando no se consideraba mortalidad. Es necesario señalar que la tasa de mortalidad z estimada, corresponde solo a la mortalidad sufrida por una fracción de la población que alcanza temporalmente una zona de su área geográfica de distribución en el Pacífico mexicano y no es comparable con la mortalidad para todo el stock.

Los valores más bajos del índice de abundancia hacia el norte podrían corresponder a la dispersión de la población en una mayor extensión geográfica, dispersión que presenta un gradiente de disminución en la densidad poblacional conforme se aleja de algún punto central cercano al límite sur de la ZEEM en el Pacífico. De acuerdo con lo reportado por Shingu *et al.* (1974) y los gráficos presentados, existe un desplazamiento de los centros de abundancia del pez vela durante el segundo y tercer trimestre del año, hacia el sudeste de Centro América; y también un desplazamiento en sentido opuesto hacia el noroeste en las costas de México. Movimientos que parecen darse alrededor del paralelo 10° N. Sin embargo estos desplazamientos no se aprecian de forma muy definida, posiblemente debido a que el periodo descrito por éste autor corresponde al inicio de las operaciones de esa flota en la región y los índices de abundancia podrían estar influenciados por los desplazamientos con fines exploratorios realizados por la flota. Sin embargo los cambios en la abundancia descritos para la región del Pacífico mexicano coinciden con los resultados del modelo para esta misma zona.

A pesar de la falta de información relativa a índices de abundancia puntuales y confiables en la región centro y sur del Pacífico mexicano, que no permite contrastar los pronósticos del modelo para la citada zona, los datos analizados y los resultados del modelo propuesto son consistentes con la hipótesis de un solo stock de pez vela en la región, como lo señala Skillman (1989), quien menciona que estos organismos realizan movimientos latitudinales de sur a norte de forma costera durante el verano de cada año.

La información histórica reportada por Miyabe & Bayliff (1987) corresponde a abundancias observadas durante periodos de 3 meses, se hace difícil comparar los centros de abundancia publicados con los pronosticados por el modelo, dado que el resultado del modelo representa un instante de los centros de abundancia para un solo día del año. Sin embargo el esquema de movimientos descrito puede considerarse cercano a la rea-

lidad y útil para explicar los cambios observados y predecir las variaciones en las abundancias regionales. Este modelo puede ser una herramienta para coadyuvar en el manejo de este recurso, por ejemplo, si se desea impulsar su captura a través de torneos de pesca deportiva, es posible recomendar sus fechas de realización de acuerdo a los picos de abundancia para la zona donde se planeó el evento; en caso contrario, si lo que se desea es restringir su captura, se pueden implantar periodos de veda considerando que la restricción coincida en zona y temporada más probable de abundancia.

AGRADECIMIENTOS

A los investigadores del Instituto Nacional de Pesca M. en C. Alexander Klett Traulsen y M. en C. Rodolfo Beltrán Pimienta de los CRIP's de La Paz BCS y Mazatlán Sin., por coleccionar y proporcionar la información relativa a la captura y esfuerzo en la pesca deportiva en esos puertos respectivamente.

REFERENCIAS

- Anónimo. 1987. *Informe final del análisis de la pesquería Comité Técnico Consultivo de la Pesquería de Picudos y Especies Afines*. Instituto Nacional de la Pesca. Secretaría de Pesca. México. (Documento Interno) 103 p.
- Beardsley, G. L. Jr., N. R. Merret & W. J. Richards. 1975. Synopsis of the biology of the sailfish *Istiophorus platypterus* (Shaw and Nodder, 1791). In: Richard S. S. & W. Francis (Eds.). National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Report. National Marine Fisheries Service. Proceedings of the International Billfish. Symposium Kailua-Kona, Hawaii 9-12 August 1972 Part 1. pp. 95-120.
- Brand, S. B., D. M. Mason & E. V. Patrick. 1992. Spatially-explicit models of fish growth rate. *Fisheries* 17 (2): 23-32.
- Butler IV, M. J. 2003. Incorporating ecological process and environmental change into spiny lobster population models using a spatially-explicit, individual-based approach. *Fisheries Research* 65: 63-79.
- Kume, S. & J. Joseph. 1969. La pesca Japonesa Con Palangre de Atunes y Peces Espada en el Océano Pacífico Oriental y al Este de los 130°W 1964-1966. *Inter-American-Tropical-Tuna-Commission Bulletin* 13 (2): 376-404.
- Macías-Zamora, R. 1993. Relaciones entre la pesca deportiva y comercial del pez vela (*Istiophorus platypterus*) en el Pacífico Mexicano. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B. C. S. 72 p.
- Macías, Z. R., N. A. Venegas & A. L. Vidaurri. 1993. La pesca deportiva del pez vela (*Istiophorus platypterus*) y su relación con la pesca comercial. *Inventario Marino. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas* 8 (2): 87-93.
- Miyabe, N. & W. H. Bayliff. 1987. Un examen de la pesca palangrera japonesa de atunes y peces espada en el Océano Pacífico Oriental,

- 1971-1980. *Inter-American-Tropical-Tuna-Commission Bulletin* 16 (1): 123-163.
- Nakamura, I. 1985. Food and Agriculture Organization Species Catalogue. Billfishes of the world. An annotated and illustrated catalogue of marlins, sailfishes, spearfishes and swordfishes known to date. *Food and Agriculture Organization Fisheries Synopsis* (125) 5: 1-65.
- Odum, E. P. 1982. Ecología. 3° Edición. Editorial Interamericana. México, D. F. 638 p.
- Prince, E. D., D. V. Holts, D. Snodgrass, E. S. Orbenzen, J. Luo, M. L. Domeier & J. E. Serafy. 2006. Transboundary movement of sailfish, *Istiophorus platypterus*, off the pacific coast of Central America. *Bulletin of Marine Science* 79 (3): 827-838.
- Shingu, C., P. K. Tomlinson & C. L. Peterson. 1974. Un examen de la pesca palangrera Japonesa de atunes y peces espada en el Océano Pacífico Oriental, 1969-1970. *Inter-American-Tropical-Tuna-Commission Bulletin* 16 (2): 97-230.
- Skillman, A. R. 1989. Status of Pacific Billfish Stocks. In: R. H. Stroud (Ed.): *Planning the future of Billfishes*. Part 1. National Coalition for Marine Conservation, Inc. Savannah, Georgia, pp.179-195.
- Sparre, P., E. Ursin & S. C. Venema. 1989. Introduction to Tropical Fish Stock Assessment. Part 1, Manual. *Food and Agriculture Organization Fisheries Technical Paper*. No 306 (1), 337 p.
- Squire, J. L. & D. W. K. Au. 1990. Striped Marlin in the Northeast Pacific - A case for local Depletion and Core Area Management. In: *Planning The Future of Billfishes*. Part 2. National Coalition for Marine Conservation. Kailua-Kona, Hawaii, pp. 199-214.
- Zavala, M. A., R. Díaz Sierra, D. Purves, G.E. Zea & I. R. Urbieto. 2006. Modelos espacialmente explícitos. *Ecosistemas* [en línea] 2006, XV (003). Disponible en: <<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=54015309>> ISSN.

Recibido: 18 de mayo de 2010.

Aceptado: 23 de junio de 2011.