

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR

10ª REUNIÓN

San Diego, California (EE.UU.)

13-17 de mayo de 2019

DOCUMENTO SAC-10 INF-J

ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LOS DATOS DISPONIBLES DE BONITO DEL PACÍFICO  
(*Sarda chiliensis lineolata*) EN EL OCÉANO PACÍFICO NORTE

Sofia Ortega-García, Ulianov Jakes-Cota<sup>1</sup>

Resumen .....	1
1. Introducción.....	2
2. Información biológica .....	3
3. Influencias ambientales.....	4
4. Evaluación del stock.....	5
5. Estado del stock .....	5
6. Datos.....	5
7. Resultados preliminares .....	5
8. Direcciones futuras .....	6
Referencias.....	7

**RESUMEN**

Este informe presenta una revisión general de la biología y aspectos históricos de la pesquería del bonito del Pacífico (*Sarda chiliensis lineolata*). El bonito del Pacífico es una especie epipelágica que se distribuye en aguas templadas sobre la plataforma continental desde el sur de Alaska hasta las Islas Revillagigedo en México. El área económicamente más productiva es desde Bahía Magdalena en el sur de Baja California, hasta Punta Concepción en California. La principal área de desove es en aguas de Baja California, entre Banco Thetis y Banco Hutchins (Golfo de Ulloa) durante la primavera y verano. Estudios de marcado han mostrado que esta especie realiza movimientos hacia el norte desde California a finales del verano y principios de otoño, y hacia el sur a las costas de California y Baja California en los meses de invierno. Históricamente la flota de pesca deportiva de USA ha capturado esta especie en aguas de California, mientras que las capturas de la flota comercial provienen de dos áreas: de las costas de California entre la frontera de México y Punta Concepción, y de la costa oeste de Baja California entre Isla Cedros y Bahía Magdalena, principalmente por embarcaciones de cerco cuyas especies objetivo son macarela, sardina y el atún aleta amarilla. A lo largo de su historia, las capturas han registrado una gran variabilidad que no ha sido explicada, con algunos años con descargas bajas intercalados con años de rendimientos altos. Aunque se han realizado esfuerzos para obtener indicadores de abundancia (Squire 1972; MacCall et al. 1976; Collins et al. 1980) a través de modelos de producción (punto de equilibrio) y modelos de rendimiento por recluta utilizando datos de captura de la pesca comercial y deportiva, las estimaciones

<sup>1</sup> CICIMAR-Instituto Politécnico Nacional, México

no han sido confiables y parecen sobreestimar la abundancia y rendimiento máximo sostenible. Se presenta la exploración preliminar de los datos disponibles y pasos a seguir.

## 1. INTRODUCCIÓN

El bonito del Pacífico (*Sarda chiliensis lineolata*) pertenece a la familia Scombridae y a la tribu Sardini, su posición taxonómica es entre las Macarelas y los Atunes (Collete y Chao 1975). Normalmente son organismos heterosexuales, los machos y hembras no presentan diferencias anatómicas externas aparentes. Los peces jóvenes se encuentran cerca de la costa en asociación estrecha con camas de algas gigantes (*Macrocystis* sp.), y los peces viejos se encuentran en aguas abiertas y en bancos costeros (Collins et al. 1980).

Es una especie epipelágica que se distribuye en aguas templadas sobre la plataforma continental desde el sur de Alaska hasta las Islas Revillagigedo en México, siendo económicamente más productiva desde Bahía Magdalena, en el sur de Baja California hasta Punta Concepción, California (Campbell y Collins 1975; Collins y MacCall 1977; Larinto 2010). Esta especie comenzó a tener un impacto económico importante en aguas de California después de 1957, principalmente para la flota de pesca deportiva, y para la captura comercial desde 1966 (Glenn 1979). Históricamente las capturas comerciales del bonito del Pacífico han provenido de dos áreas: las costas de California entre la frontera de México y Punta Concepción, y la costa oeste de Baja California entre Isla Cedros y Bahía Magdalena (Collins et al. 1980). En California, desde 1916 la captura comercial de esta especie generalmente se realiza dentro de las primeras 12 millas náuticas de la costa. En los años sesenta y setenta, en los Estados Unidos, del 50 al 90% de las descargas de bonito del Pacífico fueron capturadas en las costas de Baja California, pero en 1982 México comenzó a restringir el acceso a sus pesquerías costeras a embarcaciones extranjeras.

El bonito del Pacífico es capturado comercialmente por troleo, redes de enmalle, caña y carrete, y por embarcaciones cerqueras, siendo esta última flota el método más productivo para capturarlos. La flota cerquera consta de dos grupos generales: a) Las embarcaciones conocidas como “wet fish” que operan en aguas de California y que tienen como objetivo la macarela y las sardinas, pero capturan bonito estacionalmente. El puerto base de estas embarcaciones es San Pedro y pescan en los canales de Santa Barbara y San Pedro. b) Los barcos atuneros de cerco que operan en el Océano Pacífico Oriental y tienen como objetivo principal el atún aleta amarilla (Leet et al. 2001).

Las capturas en aguas de Estados Unidos se producen principalmente entre julio y enero, alcanzando un máximo de septiembre a noviembre, pero muy variables en los meses de julio, agosto, diciembre y enero. Las capturas en México también se concentran en la costa, principalmente en los bancos entre Isla Cedros y Cabo San Lázaro, desde junio hasta septiembre, siendo junio y septiembre los meses con las capturas más variables (Collins et al. 1980).

Desde su inicio en aguas de California, la pesquería ha presentado una alta variabilidad en las capturas, registrando algunos años con capturas intercalados con años de rendimientos altos (Figura 1). Se ha tratado de explicar este comportamiento por factores como la demanda de mercado, precio y la disponibilidad de otras especies deseables. Otras posibles causas de las fluctuaciones de las descargas pueden atribuirse a los movimientos migratorios de estos peces y a los cambios oceánicos, incluyendo variaciones ambientales de largo plazo en la temperatura del agua, cambios en las corrientes oceánicas y masas de agua de año a año, la fortaleza del reclutamiento de clases anuales de las poblaciones de depredadores y presas, disponibilidad local de presas, efectos de la contaminación en el desove y variación en la presión de pesca sobre el rango de especies explotadas. Por ejemplo, durante eventos El Niño, la mayor parte del stock suele moverse hacia el norte, volviéndose más accesible a las pesquerías de California, mientras que durante Eventos La Niña, pocos peces pueden moverse a las aguas de California (Karpov et al. 1995; Leet et al. 2001; Larinto 2010).

## 2. INFORMACIÓN BIOLÓGICA

### 2.1. Desove

Sobre la base de recolección de huevos y larvas (Klawe 1961; Pinkas 1961; Sokolovskii 1971), se ha determinado que el bonito desova en el sur de California y Baja California dentro de la isobata de los 200 m y en aguas poco profundas, en un rango de temperatura de 16 a 20 °C.

Black (1979) determinó mediante examinación externa de las gónadas de machos y de mediciones del diámetro de huevos de las gónadas de hembras, que el bonito del Pacífico desova principalmente en aguas de Baja California, desde el Banco Thetis hasta el Banco Hutchins (Golfo de Ulloa) durante primavera y verano. El estudio también encontró que el 100% de los machos mayores a 50 cm y de al menos 2 años, y el 97.5% de las hembras mayores a 55 cm y mayores a 2 años estaban maduros. Los machos están listos para desovar antes que las hembras, lo que limita la duración de la temporada de desove. Collins and MacCall (1977) reportaron una relación positiva entre surgencias fuertes en Baja California y el éxito reproductivo del bonito, medido por el reclutamiento relativo en la pesquería de “partyboat” que opera en el sur de California. La evidencia sugiere que incluso individuos de un año pueden desovar en áreas con aguas frías influenciadas por descargas térmicas. Los ejemplares de bonito más viejos, de aproximadamente 69 cm de largo o 3 años de edad (Larinto 2010) maduran al inicio de la temporada y tienden a distribuirse más lejos de la costa en comparación con los peces jóvenes.

Un análisis del diámetro de óvulos en peces reproductores indicó que el bonito desova más de una vez en cada temporada. Las estimaciones de fecundidad no fueron confiables.

### 2.2. Hábitos alimenticios

Aunque se ha reportado que sus hábitos alimenticios presentan una variación interanual y estacional (Fields 1965), la anchoveta *Engraulis mordax* es el principal componente alimenticio en la dieta del bonito del Pacífico; el calamar común, *Loligo opalescens* forma una parte importante de su dieta desde enero hasta junio; y varios peces, como las sardinas y algunos crustáceos constituyen una pequeña porción de su dieta (Pinkas et al. 1971).

### 2.3. Talla, edad y crecimiento

El bonito del Pacífico de 45 a 58 cm (4 a 18 meses de edad) es vulnerable a la flota recreativa costera en aguas de California, en la pesca deportiva se capturan muy pocos organismos de más de 60 cm, en general son de edad 0 y 1. Por otro lado, las descargas comerciales consisten casi exclusivamente de peces mayores de 2 años (> 60 cm).

Kuo (1970) y Campbell y Collins (1975) determinaron la edad a través del conteo de marcas en otolitos; sin embargo, sus resultados fueron bastante diferentes, especialmente la  $L_{\infty}$ ; mientras la primera estimación fue muy grande (266.1 cm), la segunda (76.87 cm) parece ser muy pequeña, además de que existe un reporte no verificado de un organismo de gran tamaño (Yoshida 1980). Campbell y Collins (1975) asignaron edad a más de 3000 bonitos de 23 a 79 cm (1-6 años). Ellos determinaron que esta especie tiene crecimiento rápido durante sus 3 primeros años de vida, con crecimiento mucho más lento de los 3 a 6 años. La longitud promedio de cada grupo de edad en la pesquería es edad I-51.5 cm, edad II 63.3 cm, edad III-69.5 cm, edad IV 72.9 cm, edad V-74.8 cm y edad VI 75.7 cm. Kuo (1970) asignó la edad a 121 otolitos de bonito (1-8 años) y sugirió un crecimiento casi lineal. La longitud promedio de cada grupo de edad es edad I-15.2, edad II-25.2 cm, edad III-34.7, edad IV-43.3 cm, edad V-50.9 cm, edad VI-58.5 cm, edad VII-65.2 cm y edad VIII-75.6 cm. Las longitudes a las diferentes edades dadas por Campbell y Collins son más grandes que las dadas por Kuo (1970). Los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Parámetros de crecimiento de von Bertalanffy de *Sarda chiliensis lineolata*

<b>Autores</b>	<b><math>L_{\infty}</math></b>	<b><math>k</math></b>	<b><math>t_0</math></b>
Kuo, 1970	266.1	0.038	-0.60
Campbell y Collins, 1975	76.87	0.6215	-0.410

Las estimaciones realizadas por Campbell y Collins (1975) fueron validadas por varias técnicas (tipo de borde de los otolitos, retrocálculo de longitudes y tasas de crecimiento a partir de análisis de frecuencia de longitudes y datos de marcado).

Campbell y Collins (1975) también determinaron la relación longitud-peso de machos, hembras y sexos combinados:  $W = 7.26083 \times 10^{-6} L^{3.09749}$  (machos);  $W = 7.93187 \times 10^{-6} L^{3.08338}$  (hembras) y  $W = 7.62728 \times 10^{-6} L^{3.08962}$  (sexos combinados).

#### **2.4. Migración**

Durante 1968 se realizó un proyecto de marcado de bonito del Pacífico. Más de 13,000 peces marcados fueron liberados y aproximadamente el 13% de ellos fueron recapturados. En general, los peces marcados en California se desplazaron hacia el norte a finales del verano y principios de otoño, y se desplazaron a las costas del sur de California y Baja California durante los meses de invierno. Varios bonitos marcados en las costas de Baja California en junio fueron recapturados por embarcaciones cerqueras cerca de Santa Barbara de cuatro a seis meses después. Bonitos marcados cerca de Santa Barbara fueron recuperados un año y medio después en las costas de Baja California. Ese estudio también indicó que las descargas de agua caliente de las estaciones costeras de generación eléctrica influyeron fuertemente en la migración de bonitos jóvenes en las aguas del sur de California. Estos peces permanecieron en el área de descarga o tendieron a migrar a otra área de descarga de agua caliente (Campbell y Collins, 1975; Collins y MacCall, 1977; Collins et al. 1980)

### **3. INFLUENCIAS AMBIENTALES**

Similar a especies como la macarela del Pacífico, la barracuda del Pacífico y el dorado, la abundancia de bonito del Pacífico se incrementa o muestra desplazamientos hacia el norte durante los eventos de El Niño (Mearns 1988; Karpov et al. 1995). Las poblaciones de bonito del Pacífico también fluctúan a escala decadal de manera similar que lo hace la anchoveta del norte, la cual es su presa principal (Pinkas et al. 1971).

Radovich (1983) sugirió que el bonito del Pacífico se mueve hacia el norte en aguas de California durante años cálidos, señalando que, durante estos años, el bonito desova exitosamente en aguas de California, incrementando la población local. Datos registrados por la pesca recreativa en aguas del sur de California, donde el bonito del Pacífico representa el 5.3% de las capturas totales, fueron relacionados con la temperatura oceánica e índice de surgencias como indicadores de tendencias ambientales, y la estación generadora de energía durante el período 1980-2000 por Jarvis et al. (2004). Sin embargo, a pesar del hecho que se han reportado extensiones de rango durante eventos El Niño (Karpov et al. 1995) y la presencia de esta especie cerca de descarga de aguas calentadas por estaciones costeras generadoras de electricidad (Collins et al. 1980), el bonito del Pacífico no mostró respuesta a tendencias ambientales.

En un estudio reciente, Bellquist (2015) comparó el promedio anual de tallas trofeo con cinco variables ambientales diferentes y encontró que estas variables, ordenadas por orden de importancia fueron: surgencias (53%), Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, 33%), temperatura superficial del mar en altamar (SST, 11%), y el índice El Niño Oscilación del Sur (ENSO, 3%).

#### **4. EVALUACIÓN DEL STOCK**

Aunque se ha dedicado esfuerzo para obtener indicadores de abundancia (Squire 1972; MacCall et al. 1976; Collins et al. 1980) a través de modelos de producción (punto de equilibrio) y modelos de rendimiento por recluta utilizando datos de la pesquería comercial y deportiva, las estimaciones no han sido confiables y parecen sobreestimar la abundancia y el rendimiento máximo sostenible (RMS).

Las curvas de producción indican RMS cerca de las 13 000 t, dándose a un índice de abundancia de 22% (el índice de abundancia fue escalado de tal forma que el 100% es igual a un valor de 2). Las curvas de producción están sesgadas y la producción máxima se produce a menos de la mitad de la abundancia máxima. Este modelo de producción tiende a reflejar el alcance actual de la pesca en lugar del rendimiento potencial que podría darse. Por estas razones, las recomendaciones de rendimiento que surgen de la interpretación literal de estas curvas de producción probablemente estén erradas hacia el lado de la sobreexplotación. En consecuencia, es probable que el rendimiento máximo ocurra a niveles de captura más bajos y abundancias mayores que los dados por estos modelos de producción (Collins et al. 1980).

#### **5. ESTADO DEL STOCK**

Mantener los stocks de atún a niveles que permitan el RMS es el objetivo de manejo especificado por la Convención de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT). De acuerdo con la última evaluación realizada por Collins et al. (1980), el recurso bonito parece haber sido sobreexplotado a partir de 1973, cuando las descargas comerciales tuvieron disminución que continuo hasta 1978. Sin embargo, durante los siguientes años, el comportamiento de la pesquería continuó con descargas bajas para algunos años intercalados con años con rendimientos altos (e.g. 1990, 2007; Figure 2). Desde 2007, de nuevo las capturas registraron un decremento gradual, por lo que es necesario buscar otros factores que puedan ayudar a explicar la variabilidad que ha tenido esta pesquería a lo largo de su historia.

#### **6. DATOS**

Los datos analizados son las capturas (toneladas métricas) de bonito del Pacífico registradas por embarcaciones atuneras de cerco para el periodo 1959-2018, incluyendo número y tipo de lance, y días de pesca. Este último representa el número total de días para viajes que registraron cualquier captura de bonito, incluyendo los días cuando no se capturó bonito. Tomando en cuenta la distribución de la especie, el área a analizar corresponde a capturas al norte de los 22° de latitud y al oeste de los 110° de longitud. Además, está disponible información de capturas realizadas por embarcaciones de vara de 1978 a 2011. También se dispone de datos de longitud de 573 organismos provenientes del área de desove principal, los cuales fueron registrados en 2006 y para el periodo 2014-2017.

#### **7. RESULTADOS PRELIMINARES**

##### **7.1. Capturas**

Debido a que el 99.7% del bonito del Pacífico fue capturado sobre lances no asociados, los datos de este tipo de lance fueron utilizados en los análisis subsecuentes.

Para el periodo analizado, la variación interanual fue significativa ( $F_{(57,1831)} = 2.89$   $P < .05$ ), los valores máximos se registraron en 2007 con casi 14,000 t (Figura 2). La captura total mensual para todo el periodo y los valores máximos fueron registrados de junio a septiembre con un promedio de 40,536 t para esos meses (Figura 3).

La distribución espacial de las capturas de bonito del Pacífico en áreas de un grado se muestra en la Figura 4. Es claro que los valores máximos han sido registrados desde el norte de Bahía Magdalena hasta Isla Cedros, Baja California, y en aguas del sur de California y Punta Concepción, Estados Unidos.

Las capturas promedio de bonito del Pacífico por día de pesca y por lance no asociado se muestran en las Figuras 5 y 6, respectivamente.

## 7.2. Datos de longitud

Las áreas de 5 grados y 1 grado donde se registraron datos de longitud del bonito son mostradas en la Figura 7. La distribución de frecuencias de longitud de bonito del Pacífico se muestra en la Figura 8. Tomando en cuenta los parámetros de crecimiento de von Bertalanffy estimados por Campbell y Collins (1975), se determinó la estructura de edades correspondiente a los datos de longitud registrados y ésta se muestra en la Figura 9.

## 8. DIRECCIONES FUTURAS

Considerando las altas fluctuaciones de la captura que han sido observadas en esta especie, se utilizarán Modelos Aditivos Generalizados (GAMs) para intentar determinar los principales factores ambientales que afectan su abundancia. Los GAMs son extensiones semi-paramétricas de los modelos lineales generalizados con el supuesto de efectos aditivos y componentes de suavizado (Guisan et al. 2002).

La respuesta “captura o captura por unidad de esfuerzo (CPUE)” ( $\mu_i$ ) será modelada de la siguiente manera:

$$\log(\mu_i) \sim f_1(\text{Año}_i) + f_2(\text{Mes}_i) + f_3(\text{TSM}_i) + f_4(\text{Chl}_a) + f_5(\text{ENSO}_i) + f_6(\text{UW}_i) + f_7(\text{PDO}_i) + f_8(\text{longitud}_i, \text{latitud}_i)$$

donde  $\mu_i$  es el valor esperado de la captura o CPUE.

$f_{1-7}$  son funciones suavizadoras para las covariables: Año, Mes, TSM, Chl<sub>a</sub>, ENSO, PDO, Índice de Surgencia (UW), y longitud-latitud (término de interacción). Todos los GAMs serán ajustados utilizando el paquete “mgcv” (Wood 2011) del software R (R Core Team 2019).

La distribución espacial de la captura o CPUE será estimada en una cuadrícula homogénea del área de estudio que cubre el rango espacial de los datos disponibles. El tamaño de la celda será de 1x1 grado. El promedio anual de la distribución espacial de la captura será estimado como los valores mensuales promedio por celda, y los promedios de las celdas sin datos serán estimados interpolando datos por medio de kriging (Isaacs y Shrivastava 1989; Petitgas 1996; Hengl 2009). Estas estimaciones se realizarán utilizando el paquete “gstat” (Pebesma 1999) y “RGeostats” (Renard et al. 2016) e R (R Core Team 2019); la representación gráfica se realizará en QGIS, un sistema de información geográfica de código abierto (QGIS.org). La dependencia de las capturas de las variables ambientales será estimada utilizando GAMs, como se señaló en el párrafo anterior.

Los análisis serán realizados con datos de captura y esfuerzo de manera independiente para embarcaciones cerqueras y otras artes de pesca.

Para muchas especies como el bonito, la información requerida para modelos formales de evaluación de stocks no está disponible; por lo tanto, se deben usar o investigar otros indicadores simples del estado del stock (Maunder 2018). En lugar de utilizar puntos de referencia basados en el RMS, el objetivo es comparar los valores actuales de estos indicadores simples con la distribución de los indicadores observados históricamente (Maunder y Deriso, 2007). Se utilizarán indicadores basados en los datos disponibles (e.g., captura, talla, embarcación) para explorar cuál de ellos puede explicar mejor la información disponible acerca del estado del stock, tales como captura total, captura por lance o captura por día de pesca para embarcaciones cerqueras y otras artes de pesca (esfuerzo o captura por unidad de esfuerzo, como un índice de abundancia relativa del stock), CPUE por celda, y peso promedio.

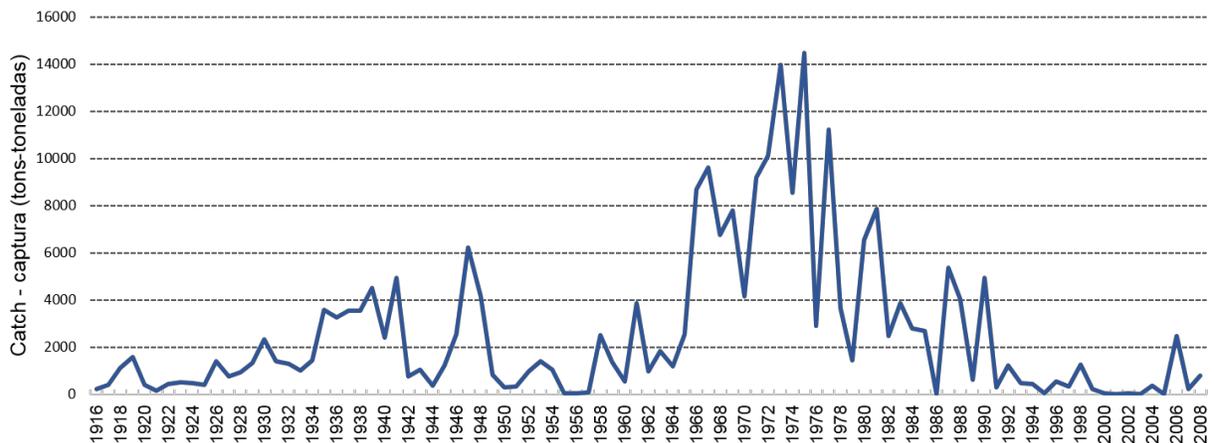
Finalmente, se explorará el método de Monte Carlo (CMSY) propuesto por Froese et al. (2017) para estimar puntos de referencia pesqueros a partir de datos de captura, resiliencia e información cualitativa

del estado del stock, un método para stocks con datos limitados. Con este método seremos capaces de estimar rendimiento máximo sostenible (RMS), biomasa, tasa de explotación y puntos de referencias pesqueros relacionados, como mortalidad por pesca correspondiente al RMS ( $F_{rms}$ ), biomasa correspondiente al RMS ( $B_{rms}$ ), entre otros y finalmente presentar una gráfica de Kobe para mostrar el estado del stock.

## REFERENCES

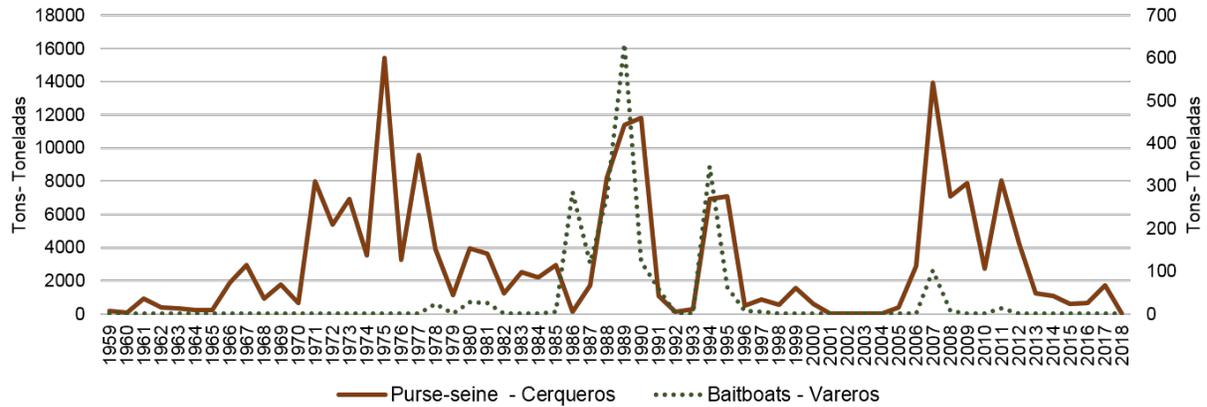
- Bellquist, L. F. 2015. A historical perspective of California recreational fisheries using a new database of “trophy” fish records (1966-2013), combined with fisheries analyses of three species in the genus *Paralabrax*. *PhD Thesis* University of California San Diego.
- Black, G. 1978. *Maturity and spawning of the Pacific bonito, *Sarda chiliensis lineolata*, in the eastern North Pacific*. Long Beach, CA, Calif. Dept. Fish Game. Marine Resources Tech. Rep. 41
- Campbell, G. and Collins RA. 1975. The age and growth of the Pacific bonito, *Sarda chiliensis*, in the eastern North Pacific. *Calif. Fish Game* 61:181-200.
- Collette, B. B. and Chao, L.N. 1975. Systematics and morphology of the bonitos (*Sarda*) and their relatives (Scombridae, Sardinii). *Fish. Bull. U.S.* 73(3): 516 - 625.
- Collette, B., Acero, A., Canales Ramirez, C., Cardenas, G., Carpenter, K.E., Di Natale, A., Guzman-Mora, A., Montano Cruz, R., Nelson, R., Schaefer, K., Serra, R. & Yanez, E. 2011. *Sarda chiliensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2011*: e.T170352 A6763952. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2011-2.RLTS.T170352A6763952.en>
- Collins, R.A. and MacCall A.D. 1977. California's Pacific Bonito resource, its status and management. Calif. Dept. Fish Game. Marine Resources Tech. Rep. 5(39).
- Collins R, Huppert D, MacCall A, Radovich J and Stauffer G. 1980. Pacific bonito management information document. Calif. Dept. Fish Game. Marine Resources Tech. Rep. No. 44. 93 p.
- Guisan A., T.C. Edwards, Hastie T. Jr. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecol. Mod.* 157: 89-100.
- Hengl, T. 2009. A practical guide to geostatistical mapping. <http://spatial-analyst.net/book>
- Isaaks, E. and Srivastava R. M. 1989. *Applied geostatistics*. Oxford University Press, New York. Pp: 486-487.
- Froese, R., N. Demirel, G. Coro, K.M. Kleisner and H. Winker. 2017. Estimating fisheries reference points from catch and resilience. *Fish and Fish*. 18: 506-526.
- Jarvis, E.T., Allen, M.J., Smith, R.W. 2004. [Comparison of recreational fish catch trends to environment-species relationships and fishery-independent data in the southern California bight, 1980-2000](#). *Cal. Coop. Ocean Fish*: 45 (167).
- Karpov, K.A., D.P. Albin, and Buskirk W.H. 1995. The Marine Recreational Fishery In Northern and Central California A Historical Comparison (1958–86), Status of Stocks (1980–86), and Effects of Changes In The California Current. Calif. Dept. Fish Game. *Fish Bulletin*: 176, 192p.
- Klawe, W. Z. 1961. Notes on larvae, juveniles, and spawning of bonito (*Sarda*) from the Eastern Pacific Ocean. *Pac. Sci.* XV (4): 487-493.
- Kuo, C-M. 1970. Taxonomic, growth, and maturation studies on the bonitos of the temperate eastern Pacific Ocean. Ph.D. Thesis., Univ. California, San Diego, 321 p.
- Larinto T., ed. 2010. Status of the fisheries report-an update through 2008. In Calif. Dept. Fish Game. [on line]. 232 pp. [www.dfg.ca.gov/marine/status](http://www.dfg.ca.gov/marine/status)
- Leet W.S., Dewees C.M. Klingbeil R. and Larson E.J. 2001. California’s Living Marine Resources: A Status Report 2001. Calif. Dept. Fish Game.

- MacCall, A.D., Stauffer, G.D. and J.P. Troodoc. 1976. Southern California recreational and commercial marine fisheries. *Mar. Fish. Rev.* 38(1):1-32.
- Maunder, M.N. 2018. Update indicators of stock status for skipjack tuna in the eastern Pacific Ocean. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm, SAC*, 1-4.
- Maunder, M.N. & R.B. Deriso. 2007. Using indicators of stock status when traditional reference points are not: evaluation and application to skipjack tuna in the eastern Pacific Ocean. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Stock Assess. Rep.* 8: 229-248.
- Mearns, A.J. 1988. The odd fish: unusual occurrences of marine life as indicators of changing ocean conditions In *Marine Organisms as Indicators* (D.F. Soule & G.S. Keppel, eds.) pp. 137-173, Springer, New York.
- Pebesma, E.J., 2004. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Comput and Geosci*, 30: 683-691.
- Petitgas, P. 1996. Geostatistics and their applications to fisheries survey data, In: *Computers in Fisheries Research*. (eds A. Megrey and E. Moksness). Chapman & Hall, London, pp. 113–142.
- Pinkas, L.; Oliphant, M.S.; Iverson, I.L.K. (1971). *Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters*. Calif. Dept. Fish Game, Fish Bulletin 152: 1-105.
- Renard D., Bez N., Desassis N., Beucher H., Ors F., Freulon X. 2016. RGeostats: The Geostatistical R package [v11.2.3]. MINES ParisTech / ARMINES.
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Sokolovskii, A. S. 1971. Spawning of the bonito, *Sarda lineolata* Girard, in Californian waters. [In Russ.] *Izvest. Tikhook. Nauchno-Issled. Inst. Ryhn. Khoz. Okean.* (Izv. TIRO) 79:172-174.
- Squire, J., Jr. 1972. Apparent abundance of some pelagic marine fishes off the southern and central California coast as surveyed by an airborne monitoring program. *Fish. Bull.*, 70(3): 1005-1119.
- Wood, S.N. (2011) Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *J. Royal Stat. Soc. (B)* 73(1):3-36
- Yoshida, H.O. 1980. Synopsis of biological data on bonitos of the genus *Sarda*. NOAA Tech. Rep. NMFS Circ. 432.



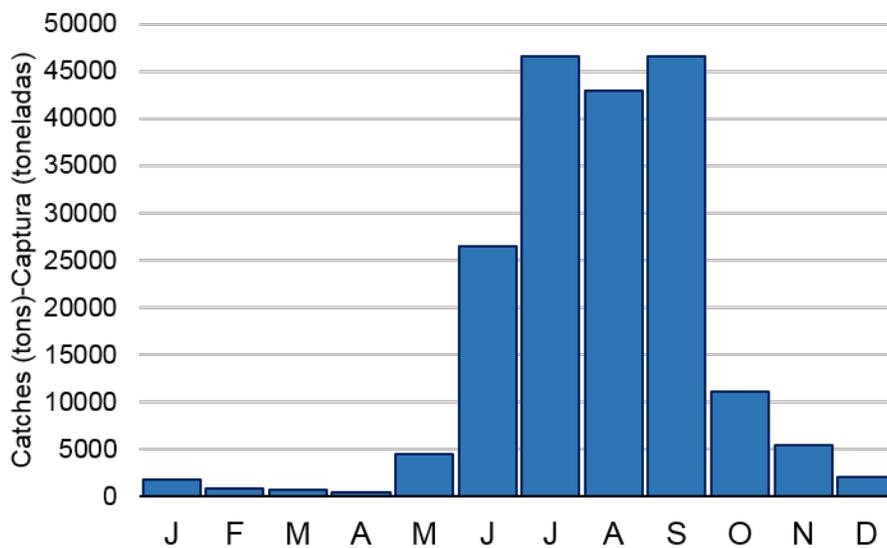
**FIGURE 1.** Commercial historical catches of Pacific bonito in California and Baja California waters (Source: Collins and MacCall 1977; Leet et al. 2001; Larinto 2010).

**FIGURA 1.** Capturas comerciales históricas del bonito (*Sarda chiliensis lineolata*) en aguas de California y Baja California.



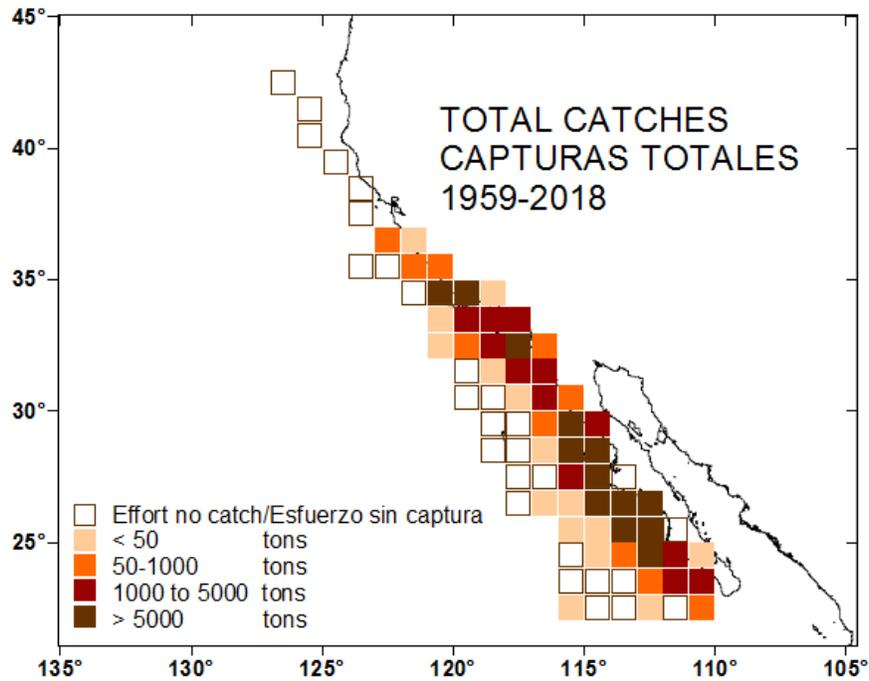
**FIGURE 2.** Inter-annual variation of purse-seine (1959-2018) and baitboat (1978-2011) fleets of Pacific bonito (*Sarda chiliensis lineolata*) catches recorded along California and Baja California waters.

**FIGURA 2.** Variación interanual de las capturas de bonito del Pacífico (*Sarda chiliensis lineolata*) registradas por las flotas de cerco (1959-2018) y vara (1978-2011) en aguas de California y Baja California.



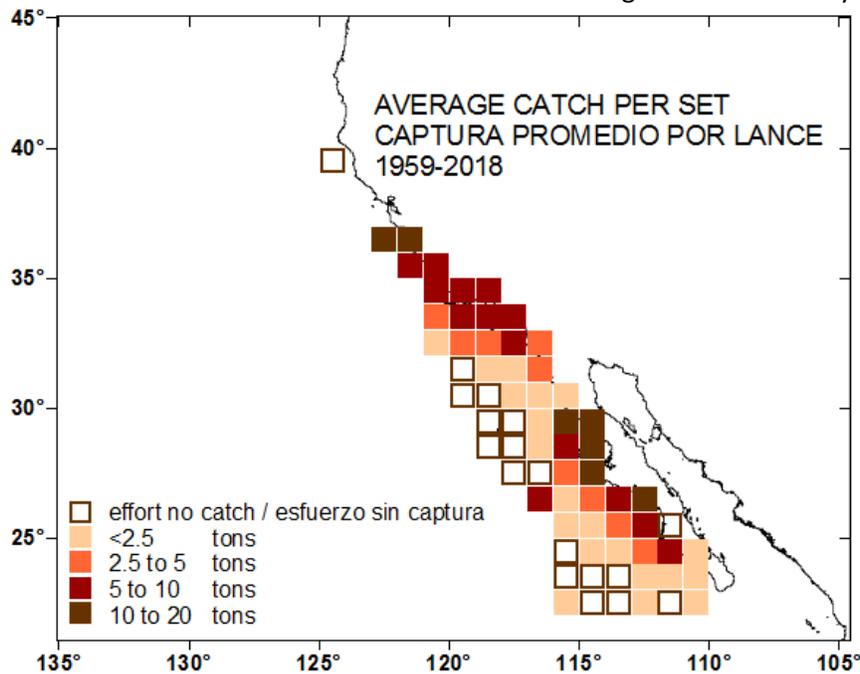
**FIGURE 3.** Monthly total catches of the Pacific bonito (*Sarda chiliensis lineolata*) recorded along California and Baja California waters by the purse-seine fleet during 1959-2018.

**FIGURA 3.** Capturas totales mensuales del bonito del Pacífico (*Sarda chiliensis lineolata*) registradas en Aguas de California y Baja California por la flota de cerco durante 1959-2018.



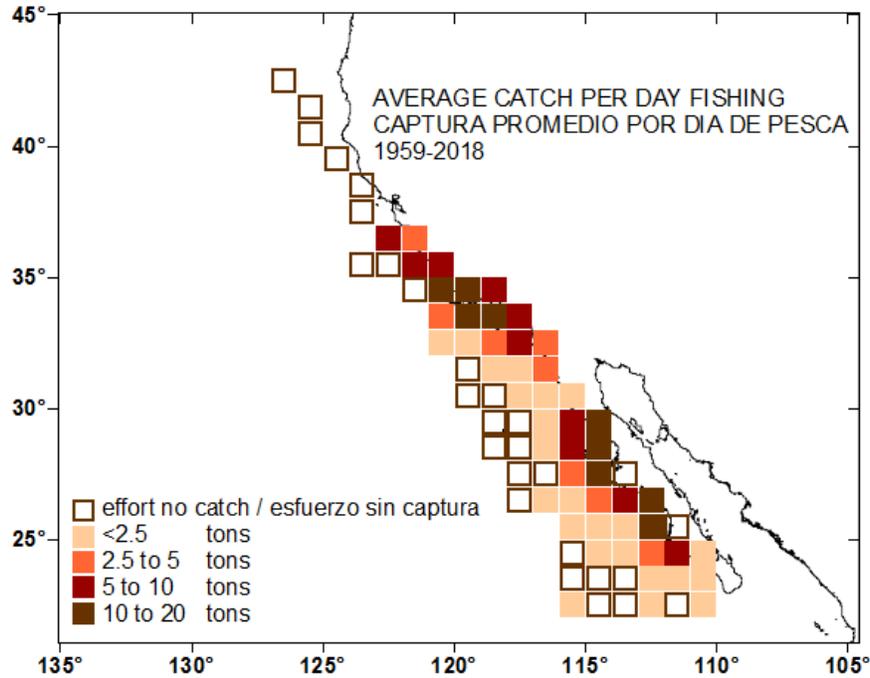
**FIGURE 4.** Total catches of Pacific bonito (*Sarda chiliensis lineolata*) for 1-degree areas recorded by purse-seine fleet during 1959-2018 recorded along California and Baja California waters.

**FIGURA 4.** Capturas totales del bonito del Pacífico (*Sarda chiliensis lineolata*) para áreas de 1 grado registradas por la flota atunera de cerco durante 1959-2018 en las aguas de California y Baja California.



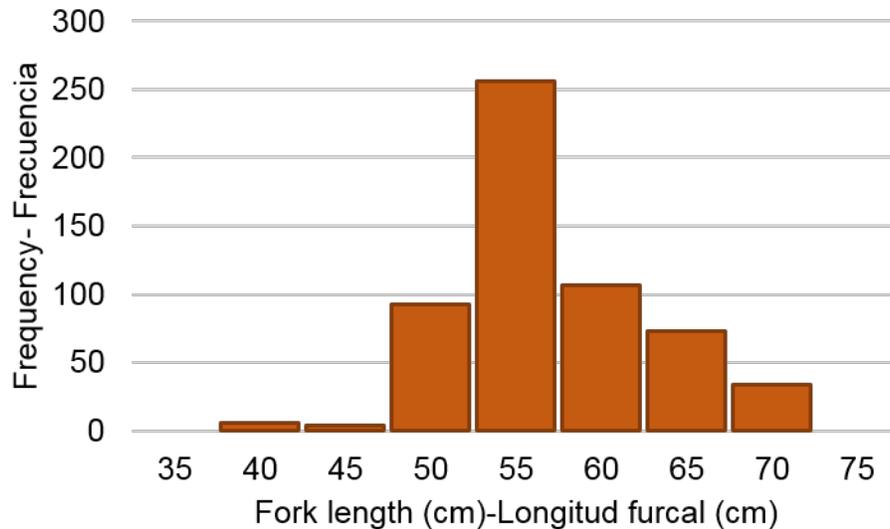
**FIGURE 5.** Average catch per unassociated set of Pacific bonito (*Sarda chiliensis lineolata*) for 1-degree areas during 1959-2018 recorded along California and Baja California waters.

**FIGURA 5.** Captura de bonito del Pacífico (*Sarda chiliensis lineolata*) promedio por lance no asociado para áreas de 1 grado durante 1959-2018 en aguas de California y Baja California.



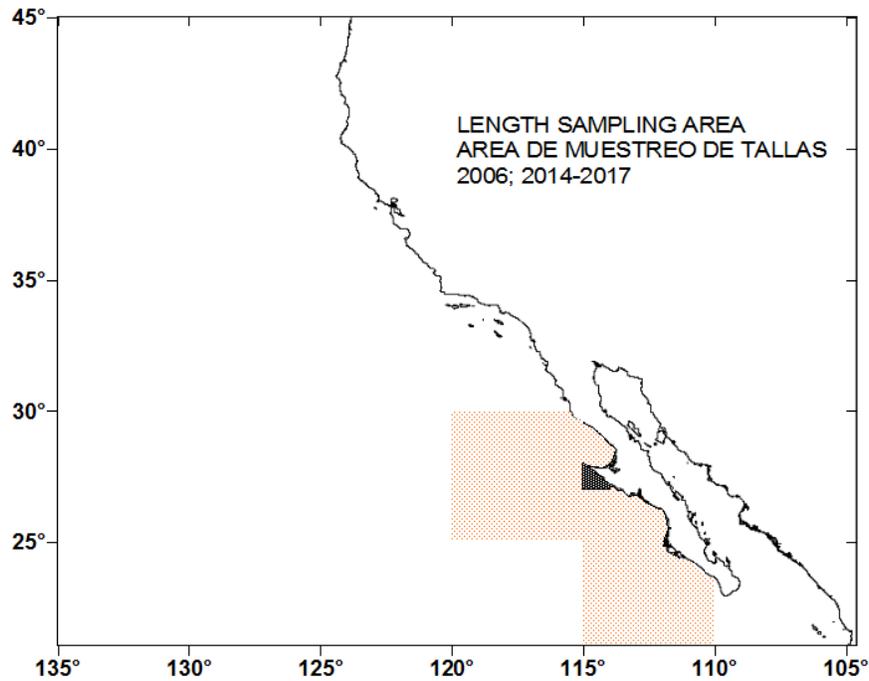
**FIGURE 6.** Average catch per day fishing of Pacific bonito (*Sarda chiliensis lineolata*) for 1-degree areas during 1959-2018 recorded along California and Baja California waters.

**FIGURA 6.** Captura de bonito del Pacífico (*Sarda chiliensis lineolata*) promedio por día de pesca para áreas de 1 grado durante 1959-2018 en aguas de California y Baja California.



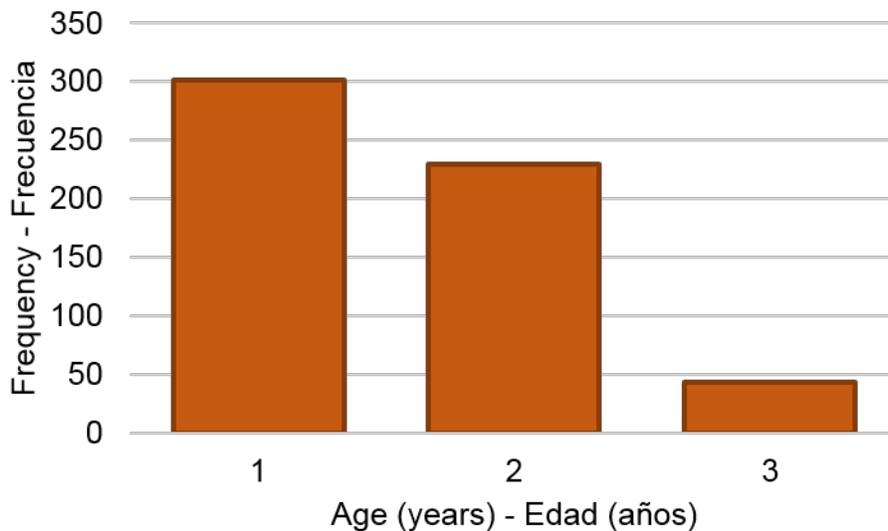
**FIGURE 7.** Five-degree and 1-degree areas where the length data of Pacific bonito (*Sarda chiliensis lineolata*) were sampled recorded in Baja California Sur waters.

**FIGURA 7.** Áreas de cinco y de un grado donde se registraron los datos de longitud del bonito del Pacífico (*Sarda chiliensis lineolata*) en aguas de Baja California Sur.



**FIGURE 8.** Length-frequency distribution of Pacific bonito (*Sarda chiliensis lineolata*) sampled during 2006 and 2014-2017 period recorded in Baja California Sur waters.

**FIGURA 8.** Distribución de frecuencias de longitud del bonito del Pacífico (*Sarda chiliensis lineolata*) muestreado durante el período 2006 y 2014-2017 en aguas de Baja California Sur.



**FIGURE 9.** Age structure of Pacific bonito (*Sarda chiliensis lineolata*) sampled during 2006 and 2014-2017 period recorded in Baja California Sur waters.

**FIGURA 9.** Estructura de edad del bonito del Pacífico (*Sarda chiliensis lineolata*) muestreada durante el período 2006 y 2014-2017 en aguas de Baja California Sur.