

MODELO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA CAPTURA DE ATÚN EN ECUADOR

MODEL FOR TUNA CATCH OPTIMIZATION IN ECUADOR

Yandri Guerrero Alcívar ^{1*}

¹ Departamento Matemáticas y Estadística, Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5759-9013>. Correo: yandri.guerrero@utm.edu.ec

Luis Heriberto Montenegro Palma ²

² Departamento Matemáticas y Estadística, Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0492-1635>. Correo: luis.montenegro@utm.edu.ec

Carlos Alberto Aray Andrade ³

³ Departamento Matemáticas y Estadística, Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5895-5200>. Correo: carlos.aray@utm.edu.ec

Joe Gerald Guillen Garcia ⁴

⁴ Departamento Matemáticas y Estadística, Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3520-003X>. Correo: joe.guillen@utm.edu.ec

* Autor para correspondencia: yandri.guerrero@utm.edu.ec

Resumen

El Modelo para la optimización de la captura del atún en Ecuador, es un estudio realizado por medio del modelo de regresión múltiple, en el caso de atún tropical (barrilete, patudo y aleta amarilla) de capturas realizadas en toneladas métricas en aguas nacionales e internacionales, aplicándolos a los datos de viajes, esfuerzos, barcos, año de captura procedentes de la Comisión Interamericana del Atún Tropical caso Ecuador. El objetivo de este trabajo es establecer un modelo matemático que mejor se ajuste a la relación de las variables independientes de los datos tomados de registros anuales y que permitan obtener una estimación de capturas en años posteriores y así tener una base de toneladas a capturar de atún, que contribuya de mucha ayuda a las industrias atuneras del país que son un pilar fundamental en la economía de Ecuador. Para la realización de este proyecto se siguieron pasos dados en la metodología de investigaciones operativas, se empleó la regresión múltiple, lo que originó la ecuación de captura: $C(v, cb, b) = -206259,216 +$

$625,433 * v + 276,835 * cb + 406,11 * b$, usando registros de datos desde 2000 hasta 2016, llegando así al modelo deseado. La ecuación de captura de atún permite estimar cuál sería el óptimo de toneladas métricas a obtener en el futuro, cuyos resultados se ajustaran a los datos reales, lo que permitirá tener beneficios económicos en la pesquería local.

Palabras clave: Captura; Esfuerzo pesquero; Regresión múltiple.

Abstract

*The Model for the optimization of the tuna catch in Ecuador, is a study carried out by means of the multiple regression model, in the case of tropical tuna (skipjack, bigeye and yellowfin) of catches made in metric tons in national and international waters. , applying them to the data of trips, efforts, boats, year of capture from the Inter-American Tropical Tuna Commission in the case of Ecuador. The objective of this work is to establish a mathematical model that best fits the relationship of the independent variables of the data taken from annual records and that allows obtaining an estimate of catches in subsequent years and thus having a base of tons of tuna to be caught. , that contributes a lot to the tuna industries of the country that are a fundamental pillar in the economy of Ecuador. To carry out this project, steps given in the operational research methodology were followed, multiple regression was used, which originated the capture equation: $C(v, cb, b) = -206259,216 + 625,433 * v + 276,835 * cb + 406,11 * b$, using data records from 2000 to 2016, thus reaching the desired model. The tuna catch equation allows estimating what would be the optimal metric tons to obtain in the future, whose results will be adjusted to the real data, which will allow economic benefits in the local fishery.)*

Keywords: Catch, Fishing effort, Multiple regression.

Fecha de recibido: 02/02/2022

Fecha de aceptado: 06/04/2023

Fecha de publicado: 07/04/2023

Introducción

La industria pesquera en Ecuador posee una gran riqueza marítima, siendo uno de los frutos del mar más importante las distintas especies de atún, lo cual ha permitido obtener una serie de productos derivados, y un gran desarrollo industrial en el país; es por ello que se tomó la decisión de realizar una investigación respecto a éste túnido, el mismo que contribuirá al análisis de captura y producción en años posteriores.

Este trabajo de investigación pretende ayudar a las distintas industrias de Manta, ciudad de Ecuador, donde actualmente se encuentran grandes industrias productoras de atún, para la optimización de la captura del mismo, y así tener maneras de poder mejorar la producción; donde la demanda del producto ayuda en la alimentación del país y en la exportación hacia distintos países que lo requieran.

El principal fin de esta investigación se debe a la importancia de crear un modelo para la optimización en su captura y proteger así los intereses de la industria y producción ecuatoriana, poder establecer bases teóricas y analizar el comportamiento de la industria bajo esta práctica, para así poder aportar de manera significativa a la provincia de Manabí perteneciente al Ecuador.

La pesca en el país es una gran fuente de trabajo, en la costa ecuatoriana generadora de empleo, donde viven 8.5 millones de habitantes. Las industrias atuneras en Manta invirtieron cerca de 902.670 toneladas en el 2011, lo que correspondió al 57% de barcos atendidos, según datos oficiales. Uno de los problemas que se pudo evidenciar es la cantidad determinada de toneladas que se debe adquirir e invertir anualmente, según la demanda de consumo y exportación debido al crecimiento poblacional.

La solución que se propone es crear un modelo para la optimización en la captura del atún, y prever la cantidad de toneladas que se debe capturar por año siguiendo los datos obtenidos anualmente del Instituto Nacional de Pesca del Ecuador y de informes trimestrales del CIAT (Comisión Interamericana del Atún Tropical) para ello, se van a emplear métodos como el de regresión lineal múltiple y de interpolación de datos, lo cual contribuirá a mejorar las estructuras de organización y finanzas de las industrias al optimizar sus recursos (basados en la cantidad de toneladas que se debe adquirir anualmente).

Para lograr esto se debe realizar un análisis de los datos de años anteriores, y utilizar diferentes métodos multivariantes o numéricos para relacionarlos entre sí, y así escoger el modelo matemático que más se asemeje a los resultados, y poder tener estimaciones o referencias en el análisis y estudios de los datos.

Después de escoger el método y el modelo de solución, se realizarán pruebas y evaluarán los resultados obtenidos para así realizar los ajustes necesarios.

Materiales y métodos

Este trabajo se realizó por la metodología de la investigación operativa ya que es muy utilizada para la formulación de modelos matemáticos.

Siguiendo esta metodología, se definirá el problema el cual está basado en la captura de atún, siguiendo los siguientes pasos:

1. Se recolectarán los datos que serán tomados del INP (Instituto Nacional de Pesca) y CIAT (Comisión Interamericana del Atún Tropical).
2. Se formulará el modelo partiendo de la regresión lineal múltiple.
3. Se dará solución del modelo.
4. Se realizará la prueba del modelo
5. Se aplicará el análisis de los resultados y se pondrá en marcha del mismo.

En esta investigación para la obtención de la ecuación de captura de atún en Ecuador, se utilizará el modelo de regresión lineal múltiple, el cual ayudará a obtener la estimación de toneladas métricas capturadas en el año y poder así tener una referencia en el momento de hacer una planificación anual para un proceso de producción y demanda de un producto, en este caso en conservas de atún.

Modelo de regresión lineal múltiple

El modelo de regresión lineal múltiple consiste en ajustar modelos lineales o linealizables entre una variable dependiente y más de una variable independiente. Al aplicar este tipo de modelos es necesario comprobar la heterocedasticidad, la multicolinealidad y la especificación.

En este modelo que se desarrollará, se trabajará con una variable dependiente (capturas de atún en toneladas métricas) y variables independientes como son: viajes, barcos y capacidad de embarcaciones.

Descripción del modelo

La regresión múltiple es una técnica estadística multivariante, que consiste en calcular la correlación entre las variables independientes con respecto a la dependiente y modelarlo en forma de función matemática. Esta función ofrece mucha información sobre dicha relación.

Este modelo es idéntico al modelo de regresión lineal simple, con la única diferencia de que aparecen más variables explicativas.

Modelo de regresión simple:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x + u$$

Modelo de regresión múltiple:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + \dots + b_k \cdot x_k + u$$

Tomando en cuenta las variables: viajes, capacidad barcos y barcos, que se están considerando en el modelo a obtener, se va a construir una ecuación similar a:

$$\text{capturas} = b_0 + b_1 \cdot \text{viajes} + b_2 \cdot \text{capacidadbarcos} + b_3 \cdot \text{barcos}$$

Donde: y = capturas, x_1 = viajes, x_2 = capacidadbarcos, x_3 = barcos; si relacionamos las variables al modelo de regresión múltiple.

El modelo obtenido para la estimación de la captura del atún en el ecuador, se construyó mediante el uso de la regresión lineal múltiple.

Las variables que se tomaron en cuenta son:

v =viaje, cb =capacidad de barcos, b =número de barcos.

Los datos fueron obtenidos en los registros del Instituto Nacional de Pesca del Ecuador (INP) y del CIAT (Comisión Interamericana del Atún Tropical), los mismos que estaban en informes trimestrales por cada año, luego de su estudio y análisis se determinó la siguiente matriz de datos y se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Matriz de datos para la construcción del modelo matemático para la estimación de la captura del Atún en el Ecuador.

AÑO	CAPTURAS	VIAJES	CAPACIDAD PROMEDIO DE BARCOS	BARCOS
2000	162188	240	676	75
2001	140220	234	599	77
2002	128532	228	564	77
2003	176101	289	609	77
2004	139628	254	550	77
2005	156619	323	485	79
2006	195120	289	675	84
2007	146762	248	592	86
2008	225358	282	799	84
2009	189116	252	750	87
2010	160628	246	653	87
2011	239632	297	807	93
2012	248438	317	784	103
2013	253743	316	803	105
2014	270102	335	806	111
2015	309936	367	845	112
2016	286945	350	820	113

Fuente: Instituto Nacional de Pesca y registros de la CIAT.

Resultados y discusión

Para encontrar el modelo matemático, se aplicó una técnica multivariante, usando el software SPSS Statistics el que nos permitió tener los coeficientes de las variables que intervienen en la ecuación de capturas en toneladas métricas de atún según los datos que interviene por periodos anuales analizados durante los años 2000 – 2016.

Después de ingresar los datos al programa se obtuvieron los resultados correspondientes al modelo de regresión múltiple, que se mostrarán a continuación:

Tabla 2. Estadísticos descriptivos del Modelo de Captura de Atún en el Ecuador.

Estadísticos descriptivos			
	Media	Desviación estándar	N
Capturas	201709,8824	57387,85561	17
Viajes	286,2941	43,19254	17
Capacidad	695,1176	114,14020	17
Barcos	89,8235	13,65758	17

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 2 muestra los estadísticos descriptivos de los datos ingresados, teniendo un promedio de capturas de 201709,8824 durante los años 2000 – 2016.

Tabla 3. Coeficientes del Modelo Matemático de Captura de Atún en el Ecuador.

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error estándar	Beta		
1	(Constante)	-206259,216	6833,072		-30,185	,000
	viajes	625,433	37,893	,471	16,505	,000
	capacidad	276,835	14,139	,551	19,579	,000
	barcos	406,110	163,213	,097	2,488	,027

a. Variable dependiente: capturas

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3 se determinaron los coeficientes no estandarizados para el modelo como son:

$$b_0 = -206259,215; b_1 = 625,433 ; b_2 = 276,835 \text{ y } b_3 = 406,110$$

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + \dots + b_k \cdot x_k + u$$

Siendo:

$$y = c(v, cb, b)$$

$$b_0 = -206.259,216$$

$$b_1 = 625,433$$

$$b_2 = 276,835$$

$$b_3 = 406,11$$

Lo que determinó la ecuación de captura de Atún en el Ecuador:

$$\begin{aligned} \text{capturas} &= b_0 + b_1 \cdot \text{viajes} + b_2 \cdot \text{capacidadbarcos} + b_3 \cdot \text{barcos} \\ C(v, cb, b) &= -206259,216 + 625,433 * v + 276,835 * cb + 406,11 * b \end{aligned}$$

Siendo las variables en el modelo obtenido:

v = viajes realizados durante el año

cb = capacidad promedio de barcos en el año

b = cantidad de barcos empleados en el año

El nivel de significación del 5% nos indica que las variables viajes, capacidad y barcos si son significativas, estando la última en un 2,7% siendo esta menor que el 5%. Se puede ver también que el nivel de significación de la constante está por debajo del 5%, lo que nos señala que debe ser incluida en el modelo matemático obtenido.

Ya implementado el modelo matemático se pudo determinar una comparación de los datos obtenidos de los registros del CIAT, con los que devuelve la función de captura del atún en Ecuador, al ingresar las variables independientes al modelo de captura, se determinará la cantidad de toneladas métricas de atún según el modelo matemático obtenido, tal como se detalla en la Tabla 4.

Aquí se puede ver una relación entre los datos, el mismo que nos arrojará un error absoluto y relativo, si realizamos un análisis en uno de los años como por ejemplo en el 2016, cuya captura fue de 286.945 y en nuestro modelo obtenido de 285.537.

$$\text{error absoluto} = |286.945 - 285.537| = 1408$$

$$\text{error relativo} = \frac{1408}{286945} * 100 = 0.49\%$$

En el 2016, se tendría un error absoluto de 1.408 toneladas métricas, lo que correspondería a un error relativo correspondiente al 0,49% que es muy bajo, en comparación a la cantidad de captura que se da cada año.

Tabla 41. Capturas de Atún CIAT vs Capturas de Atún (Modelo Matemático) periodos 2000 – 2016.

AÑO	CAPTURAS	MÓDELO MATEMÁTICO
2000	162188	161443

2001	140220	137187
2002	128532	123745
2003	176101	174354
2004	139628	136130
2005	156619	162103
2006	195120	195468
2007	146762	147660
2008	225358	225417
2009	189116	194308
2010	160628	163702
2011	239632	240668
2012	248438	250871
2013	253743	256318
2014	270102	271468
2015	309936	302685
2016	286945	285537

Fuente: Instituto Nacional de Pesca y registros de la CIAT.

En la Figura 1 se puede observar como los resultados obtenidos mediante la ecuación de captura del atún están relacionados con los datos reales, sin embargo se puede también ver que la variación existente entre los datos (error) se puede dar por factores climáticos o fenómenos naturales, lo cual hace que la función obtenida varíe un poco los resultados obtenidos.

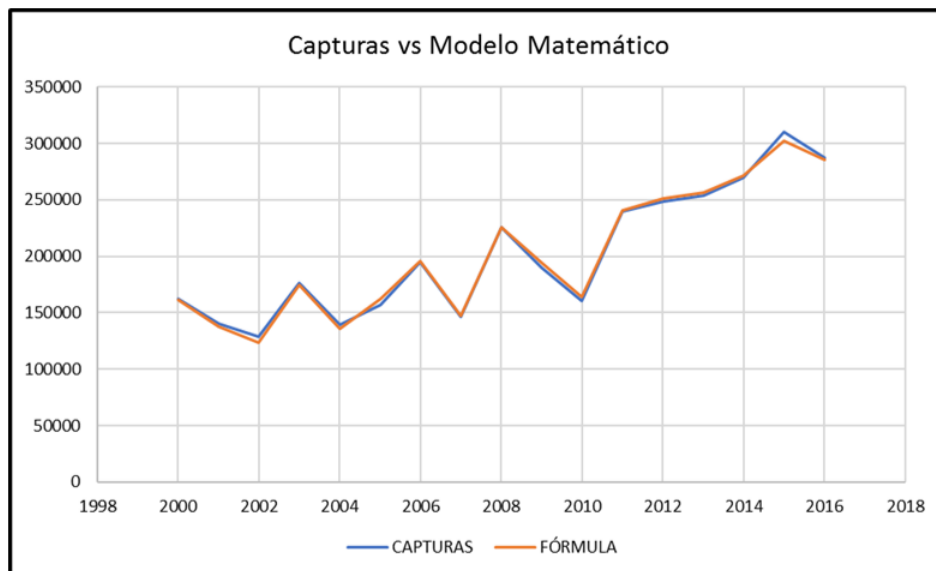


Figura 1. Comparación de los datos reales con los obtenidos en el modelo matemático. Periodos 2000 – 2016.

Fuente: Elaboración propia.

Podemos relacionar los datos obtenidos por ejemplo en el 2011 por el CIAT cuya obtención fue de 225358 T.M. y compararlos con el obtenido por el modelo de captura que nos da 225417 T.M. y nos damos cuenta que la similitud de resultados arroja un error absoluto de 59 T.M. que es muy bueno, ya el error relativo estaría en un 0,026 % para ese año.

El modelamiento de la explotación de la captura del atún en Ecuador, es factible debido a la semejanza de los datos obtenidos en el modelo calculado por regresión lineal múltiple, el mismo que servirá de mucha ayuda para estimar la cantidad de toneladas métricas que se desean capturas según el crecimiento industrial en las grandes atuneras del país, esencialmente Manta, ya que Ecuador es uno de los principales exportadores del atún tropical a nivel mundial.

Para la obtención de la ecuación de la captura del atún, se realizó una investigación previa en comparación con otros modelos como el de teoría de juegos de Robert McKelvey y Peter Golubtsov, el modelo de crecimiento de la población de una especie con pesca dado por un proceso dinámico, el de Schaefer y Fox que relacionan datos previamente obtenidos según registros mensuales, trimestrales y anuales, los mismos que permitieron tener una mejor visión y análisis en el momento de escoger la metodología de estudio para la aplicación de técnicas multivariantes y métodos numéricos aprendidos en la maestría.

Esta función matemática, permite tener una aproximación de capturas considerando las variables independientes, aunque es muy cierto que el modelo no se asemeja al 100% de los datos, debido a que influyen en el momento de la captura fenómenos naturales y climáticos durante el periodo a estimar.

El modelo obtenido contribuirá a las industrias ecuatorianas por la importancia y servicio que prestará, y será una gran aportación para las pequeñas empresas que desean tener una referencia de inversión como base para cada año.

Se puede observar en el trabajo realizado que en los años que la cantidad de captura fue menor, debido a la menor cantidad de viajes por cada una de las embarcaciones y también por daños y mantenimiento que debían tener debido a su ciclo de usos, además que el incremento fue sobresaliente cada vez que se adquirirían nuevas flotas para aumentar la producción en la pesca ecuatoriana.

Conclusiones

El crecimiento de las industrias pesqueras en el país es de gran importancia, ya que seguirá generando empleo y muchas fuentes de trabajo, y un desarrollo económico sustentable en la producción del Ecuador.

Con el desarrollo de este tipo de trabajos de investigación se pretende contribuir a las industrias atuneras del Ecuador, a través de la obtención de valores estimativos para ciertos años de explotación del atún.

Es importante recalcar que en el modelo matemático obtenido para la captura del atún, no se ha considerado el clima, ni fenómenos como el niño y la niña, que pueden influir de manera directa en el proceso de captura, lo que representa que en esos años usando las mismas embarcaciones se tendrían menos viajes, lo que conllevaría a bajar el stock de capturas.

Sin embargo, este trabajo es una aportación al estudio de la obtención de recursos marinos debido a su interés existente en el campo de la producción pesquera que es un ente primordial en la economía de los países dedicados a la pesca, y es punto de inicio para el fortalecimiento de trabajos posteriores en este campo.

Este tipo de trabajos servirá como punto de partida para nuevas investigaciones referente a este campo de estudio, involucrando más variables lo que permitirá estimar así mucho más las soluciones deseadas.

El uso del modelo de regresión lineal múltiple en la modelación matemática sirve para dar soluciones a cualquier tipo de problema deseado teniendo siempre y cuando un conjunto de datos que permiten relacionarse entre sí y llegar a la ecuación óptima en sus resultados.

Referencias

- Ali Haider (2016). Mathematical Modeling Applied to Sustainable Management of Marine Resources. Recuperado de https://ac.els-cdn.com/S1877705817333040/1-s2.0-S1877705817333040-main.pdf?_tid=c861e89e-ee49-11e7-96cf-00000aab0f26&acdnat=1514738812_6ec616334b25d0ffd1456be736bab297
- Amaya J., Cartigny P., Rapaport A. (2011), El modelamiento matemático aplicado al estudio de los recursos marinos y su manejo. Journal of Economic Literature, 5-6. Recuperado de <http://lplab.cmm.uchile.cl/files/2011/12/2-AmCaRa.pdf>
- Barzola J., Caicedo J., Villacres J., (2011). Aplicación de un Modelo de Sostenibilidad para la Pesca y Sobre Explotación del Atún Tropical en el Ecuador. (Artículo de tesis de grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24505/1/Aplicacion%20de%20un%20modelo%20de%20sostenibilidad%20para%20la%20pesca%20y%20sobre%20explotaci%C3%B3n%20del%20at%C3%BAn%20tropical%20en%20Ecuador.pdf>
- Cámara Ecuatoriana de Industriales y Procesadores Atuneros, (2017). Fichas del atún del Ecuador. Recuperado de <http://ceipa.com.ec/>
- Cámara Nacional de pesquería, (2016). Captura de atún en el año 2016. Recuperado de <http://camaradepesqueria.com/capturas-de-atun-en-el-ano-2016/>
- CEIPA. (2016). Sostenibilidad del atún en el Océano Pacífico Oriental. Recuperado de <http://ceipa.com.ec/2016/03/16/sostenibilidad-del-atun-en-el-oceano-pacifico-oriental/>
- CNP, (2017). Capturas de Atún en el OPO. Recuperado de <http://camaradepesqueria.com/wp-content/uploads/2017/08/CAPTURAS-DE-ATUN-EN-EL-OPO-2017-ENE-JUN.pdf>
- Ecuador FAO, (2003). Información sobre la ordenación pesquera en el Ecuador. Recuperado de <http://www.fao.org/fi/oldsite/FCP/es/ecu/body.htm>
- Edupedia, (2017). Mar territorial en el Ecuador. Recuperado de <http://www.edupedia.ec/index.php/temas/geografia/del-ecuador/mar-territorial>

- Expreso (2017). La flota atunera de Ecuador crece tras la nacionalización de nuevas embarcaciones. Recuperado de <http://www.expreso.ec/economia/la-flota-atunera-de-ecuador-crece-tras-la-nacionalizacion-de-nuevas-embarcaciones-CA1200545>
- Hans Peter Fischer, (2008). Mathematical Modeling of Complex Biological Systems. Alcohol Res Health. 31(1): 49–59. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3860444/>
- IATTC, (2017). Informe trimestrales de capturas, viajes, flotas de atún en el Ecuador periodos 2000 – 2016. Recuperado de <https://www.iattc.org/QuarterlyReportsSPN.htm>
- INP, (2017). Estadística de la flota atunera Ecuatoriana 2000 – 2016. Recuperado de <http://institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2017/07/Desembarques-de-Capturas-de-la-Flota-Atunera-Cerquera-Ecuatoriana-per%C3%ADodo-2000-2016.pdf>
- Instituto Nacional de estadística y censos, (2017). Estadísticas productivas. Recuperado de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>
- Instituto Nacional de pesca, (2017). Condiciones Biológicas Pesqueras y Artes de pesca. Recuperado de <http://www.institutopesca.gob.ec/>
- Instituto Nacional de Pesca, (2014). Aspectos Biológicos y Pesqueros de las Capturas de Atún Registrada por la Flota Atunera Cerquera Ecuatoriana Período 2000-2013. Recuperado de <http://institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2017/07/1-Aspectos-Biol%C3%B3gicos-y-Pesqueros-de-las-Capturas-de-At%C3%BAn-Registradas-por-La-Flota-Atunera-Cerquera-2000-2013.pdf>
- Malverde J., (2008). Modelamiento Matemático de la Gestión de Recursos Pesqueros Transfronterizos. (Tesis de grado). Universidad de Chile, Santiago. Recuperado de www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2008/malverde_js/sources/malverde_js.pdf
- Marbelize, (2017). Recuperado de <http://marbelize.com/es/>
- Ministerio de Acuacultura y Pesca, (2012). Registro Nacional para embarcaciones. Recuperado de <http://www.acuaculturaypesca.gob.ec/subpesca430-registro-nacional-para-embarcaciones-pesqueras.html>
- Ministerio de Comercio Exterior, (2017). Informe sobre el sector atunero ecuatoriano. Recuperado de <http://www.comercioexterior.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/Reporte-del-sector-atunero.pdf>
- Ruiz, F. J. C. (2014), & de la Marina Civil, E. S. PROPOSAL OF A MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMIZING RESOURCES IN MARINE SAR SERVICES. Recuperado de <http://iamu.edu.org/wp-content/uploads/2014/06/34-PROPOSAL-OF-A-MATHEMATICAL-MODEL-FOR-OPTIMIZING-RESOURCES-IN-MARINE-SAR-SERVICES.pdf>
- Santo Motta, Francesco Pappalardo (2013). Mathematical modeling of biological systems. *Briefings in Bioinformatics*,14, 411– 422. Recuperado de <https://doi.org/10.1093/bib/bbs061>