



Proyección del precio de la harina de pescado mediante modelos ARIMA basados en la temperatura superficial del mar y la producción de *Engraulis ringens*

Projection of fishmeal prices using ARIMA models based on the relationship between sea surface temperature and *Engraulis ringens* production

Dennis Tomalá-Solano^{1, 2}; Francisco Javier Montalvo-Márquez¹; Gabriela Revelo-Salgado¹

¹ Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Calle Antisana y Av. Universitaria, Carchi, Ecuador.

² Universidad Estatal Península de Santa Elena. Campus universitario La Libertad, Santa Elena, Ecuador.

ORCID de los autores

D. Tomalá-Solano: <https://orcid.org/0000-0002-8501-7885>

F. J. Montalvo-Márquez: <https://orcid.org/0000-0003-2597-1113>

G. Revelo-Salgado: <https://orcid.org/0000-0001-5238-223X>

RESUMEN

Engraulis ringens es la principal especie utilizada en la producción de harina y aceite de pescado para la industria acuícola y agroalimentaria. La distribución, abundancia y producción de la especie está fuertemente influenciada por la temperatura superficial del mar (TSM), afectando de forma directa la oferta y demanda de harina, repercutiendo en el valor en el mercado. Sin embargo, existen escasos estudios que vinculen la TSM con el precio final de la harina, como un mecanismo de predicción. Por ello, el análisis y modelamiento de series de tiempo constituye una herramienta apropiada. Se aplicó el modelo ARIMA bajo el enfoque Box-Jenkins para analizar series univariadas de la temperatura, desembarques de *E. ringens* y precio de la harina de pescado. Se realizó 20 interacciones del modelo ARIMA por cada relación de variables y presentó mejores resultados en cortos períodos. La correlación TSM - Precio, presentó un coeficiente $r = 0,533$ al 95% de confianza ($p = 0,0004$). El modelo ARIMA de la TSM constituye una herramienta importante para proyectar el precio de la harina de pescado hasta tres años, permitiendo el desarrollo de estrategias efectivas para mantener la sostenibilidad de los recursos pesqueros y garantizar la estabilidad del mercado.

Palabras clave: anchoveta; series de tiempo; El Niño; desembarques; sostenibilidad.

ABSTRACT

Engraulis ringens is the main species used in the production of fishmeal and fish oil for the aquaculture and agri-food industries. The distribution, abundance, and production of this species are strongly influenced by sea surface temperature (SST), directly affecting the supply and demand of fishmeal and impacting its market value. However, few studies link SST with the final price of fishmeal as a predictive mechanism. Therefore, time series analysis and modeling are appropriate tools. The Box-Jenkins ARIMA model was applied to analyze univariate time series of temperature, *E. ringens* landings, and fishmeal price. Twenty ARIMA model interactions were performed for each variable relationship, yielding the best results over short periods. The SST-price correlation coefficient $r = 0.533$ at the 95% confidence level ($p = 0.0004$). The SST ARIMA model is an important tool for projecting fishmeal prices for up to three years, enabling the development of effective strategies to maintain the sustainability of fishery resources and ensure market stability.

Keywords: anchovy; time series; El Niño; landings; sustainability.

1. Introducción

Las industrias agropecuarias y acuícola dependen de fuentes de materia prima de origen vegetal y animal, que genera demanda de harina y aceite de pescado, elementos esenciales en la fabricación del alimento balanceado comercial obtenido a partir de las capturas de peces pelágicos pequeños, entre ellos, la anchoveta (*Engraulis ringens*).

La anchoveta es una de las especies marinas más importantes a nivel mundial debido a su rol en la producción de harina y aceite; siendo Perú el mayor productor de harina de pescado, debido a los grandes "stocks" de la especie, existentes frente a sus costas. La distribución y abundancia de la especie depende de las fluctuaciones de la temperatura del mar, influenciada por fenómenos climáticos como El Niño y La Niña, que condicionan las capturas pesqueras, generando cambios en la oferta y demanda de la harina de pescado y repercutiendo en los precios en el mercado global.

La temperatura superficial del mar (TSM) constituye una característica reconocida de la oceanografía de un área, presentando variabilidad en espacio y tiempo. Entre los efectos sobre las pesquerías se destacan: la migración vertical u horizontal, la distribución geográfica de los stocks y la alteración de sus ciclos de vida (Cheung et al., 2009 y García et al., 2013); así como, las actividades reproductivas, la disponibilidad de alimento (Richardson & Schoeman, 2004) y la productividad marina (Lehodey et al., 2006; Hsieh et al., 2019). En el mismo contexto, los efectos del incremento de la temperatura marina vinculados al Cambio Climático, parecen estar afectando los ecosistemas, formulando desafíos trascendentes en términos de sostenibilidad.

En la costa sur de Ecuador, Perú y norte de Chile se presentan afloramientos marinos, que provocan el ascenso de aguas profundas frías y nutrientes hacia la superficie cambiando la dinámica de la temperatura del Pacífico suroriental (Montecinos & Aceituno, 2003; Arntz et al., 2006). Esta productividad biológica sustenta la pesquería de pelágicos pequeños, más importantes del mundo, contribuyendo a la biodiversidad marina en la región (Chavez & Messié, 2009). La ocurrencia de El Niño debilita los afloramientos favoreciendo las condiciones cálidas.

Las condiciones cálidas de los eventos El Niño pueden provocar cambios en la estructura trófica en los ecosistemas de pelágicos pequeños alterando la extracción, con implicaciones sobre la

seguridad alimentaria, la economía y la gestión pesquera de los países afectados (García-Reyes et al., 2014; Fisher et al., 2015). Las anomalías cálidas a nivel superficial y subsuperficial, provocan migraciones generalmente temporales de especies hacia zonas más favorables, afectando su disponibilidad pesquera (Cai et al., 2014; Chavez et al., 2017).

Por otra parte, la producción de harina de pescado es una actividad económica que se basa en la captura y procesamiento de pelágicos pequeños, obtenida mediante la cocción, secado y molienda del recurso. En la industria agropecuaria y acuícola es utilizada como fuente de proteínas y nutrientes para la producción de alimento (Gutiérrez et al., 2007; Tafur et al., 2009; Pauly & Zeller, 2017).

Según el Anuario Estadístico de la Organización Internacional de la Harina y Aceite de Pescado - IFFO (Rodríguez, 2023), Perú es el primer productor mundial de harina de pescado con 1,1 millones de TM, Chile con 369 mil TM ocupa el cuarto lugar; mientras que, Ecuador con 85 mil TM se encuentra en la décimo quinta posición. Por su parte, *E. ringens* es la única especie permitida por el estado peruano para esta industria, que constituye el principal indicador de la producción de harina de pescado en el área (IMARPE, 2020), y la que impone el precio mundial.

En este marco, la pesquería de *E. ringens* es considerada una de las más grandes y sostenibles del mundo, constituyendo una transcendental fuente de ingresos económicos (Chavez et al., 2003) y la gestión adecuada es decisiva para garantizar la continuidad de la actividad (Fréon et al., 2005; Niquen y Bouchon 2004), así como la conservación de los ecosistemas marinos (Christy, 2011; Carlson, 2018). *E. ringens* ha experimentado fluctuaciones significativas en su abundancia debido a factores ambientales y a la presión pesquera.

Por su parte, Bracamonte (2025) y Burga Farfán et al. (2024) han estudiado la cadena de valor de la harina de pescado y la fluctuación en su precio a nivel local e internacional, determinando los elementos con capacidad de afectar esta industria en el Perú. El precio de la harina es cambiante y su producción está sujeta a regulaciones ambientales y de calidad para garantizar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de la actividad (FAO, 2009; FAO, 2014).

De este modo, las series de tiempo captan las tendencias y estacionalidades que afectan estos fenómenos, identificando patrones recurrentes y posibles factores externos que inciden en su

comportamiento. Por tanto, la TSM juega un rol preponderante en la dinámica de los ecosistemas marinos y, por ende, en la disponibilidad de la anchoveta.

Una de las metodologías usualmente empleadas en el Análisis de Series de Tiempo (AST) es el modelo ARIMA (*AutoRegressive Integrated Moving Average*), y se aplica en caso de que la serie de tiempo sea no estacionaria (De la Fuente, 2013); mientras que, para series estacionarias (media, varianza y autocorrelación no varían con el tiempo) se utiliza el modelo ARMA (*Auto-regressive Moving Average*), en el que intervienen componentes autorregresivos (AR) y de media móvil (MA). La ecuación general del modelo ARMA (p, q) se expresa de la siguiente forma:

$$X_t = c + \sum_{i=1}^p \varphi_i X_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Donde X_t : variable de la serie observada en el tiempo t (como la TSM o el precio de la harina de pescado); c: intercepto o constante que representa la tendencia central de la serie; p: orden del componente autorregresivo (AR), es decir, valores pasados de la serie que afectan al valor presente; φ_i : coeficiente del componente autorregresivo, determinan la influencia de los valores pasados, X_{t-i} ; q: orden del componente de media móvil (MA), que indica cuántos errores pasados afectan al valor presente; X_{t-i} : valores pasados de la serie, que influyen en el valor actual X_t ; θ_j : coeficientes del componente de media móvil, miden la influencia de los errores pasados ε_{t-j} sobre X_t ; ε_t : error aleatorio en el tiempo (t) y ε_{t-j} : errores pasados, que afectan al valor presente a través del componente de media móvil.

Para estudiar la relación entre la TSM y los desembarques de anchoveta, el modelo ARIMA es útil para descomponer la variabilidad inherente a las series de tiempo en componentes predecibles y aleatorios; esto permite identificar patrones estacionales o ciclos recurrentes en la temperatura. Previo a la aplicación del modelo, es preponderante corroborar que los datos cumplan los supuestos de estacionariedad, y en un escenario opuesto, se aplican técnicas de diferenciación de la serie. Scheidereite & Faure (2015) y Cancino et al., (2023) sostienen que el uso de ARIMA en estudios de la relación de parámetros climáticos y económicos ha demostrado eficacia en la estimación de correlaciones y predicciones a corto plazo.

Al revisar la literatura científica, existe escasa evidencia de la predicción de modelos que permitan anticipar cambios en la producción y precio. De modo que, el entendimiento de los

factores que influyen en las capturas de anchoveta y la relación con el precio de la harina de pescado es esencial para la administración, planificación y la sostenibilidad de los recursos hidrobiológicos.

Las variaciones en la temperatura superficial del mar, son cada vez más frecuentes debido al cambio climático, teniendo impacto directo sobre los ecosistemas marinos y en poblaciones de peces. Al estudiar esta relación, la investigación no solo contribuirá al conocimiento científico sobre el comportamiento de las especies, sino que ofrecerá información para predecir los efectos adversos en las pesquerías y ser utilizados por organismos de gestión pesquera para la toma de decisiones, permitiendo desarrollar estrategias efectivas para mantener la sostenibilidad de los recursos pesqueros y garantizar la estabilidad del mercado. Por ello, el análisis de series de tiempo de las variables permitirá generar modelos predictivos que ayuden a anticipar la influencia de las fluctuaciones climáticas sobre los recursos pesqueros y los mercados asociados.

La investigación consistió en analizar la relación entre la TSM y los desembarques de *E. ringens* mediante modelos ARIMA para la proyección del precio de la harina de pescado.

2. Metodología

El trabajo se enfocó en el análisis de las capturas pesqueras anuales de *E. ringens* desembarcadas en las zonas norte y centro de Perú, representadas climáticamente por el área Niño 1+2 (Figura 2).

El tipo de investigación fue cuantitativo, longitudinal y correlacional. El enfoque cuantitativo se basó en la recopilación y análisis de series de tiempo anuales de TSM promedio (°C), volúmenes de captura (TM) y precio promedio internacional de la harina de pescado (USD), buscando patrones, tendencias o correlaciones estadísticas entre las variables; mientras que fue longitudinal debido a que se estudiaron los cambios de estas variables a través del tiempo; y, por último, fue correlacional al buscar establecer relaciones entre las variables.

La TSM del área Niño 1+2 (°C), definida por el Centro de Predicción Climática de la Administración del Océano y la Atmósfera de los Estados Unidos de América – CPC NOAA (Climate Prediction Center - Four El Niño Regions, 2023), es expresada en un área entre 0 a 10° sur y entre 80 a 90° oeste. Esta región cubre el área marina frente a la costa sur de Ecuador y norte de Perú.

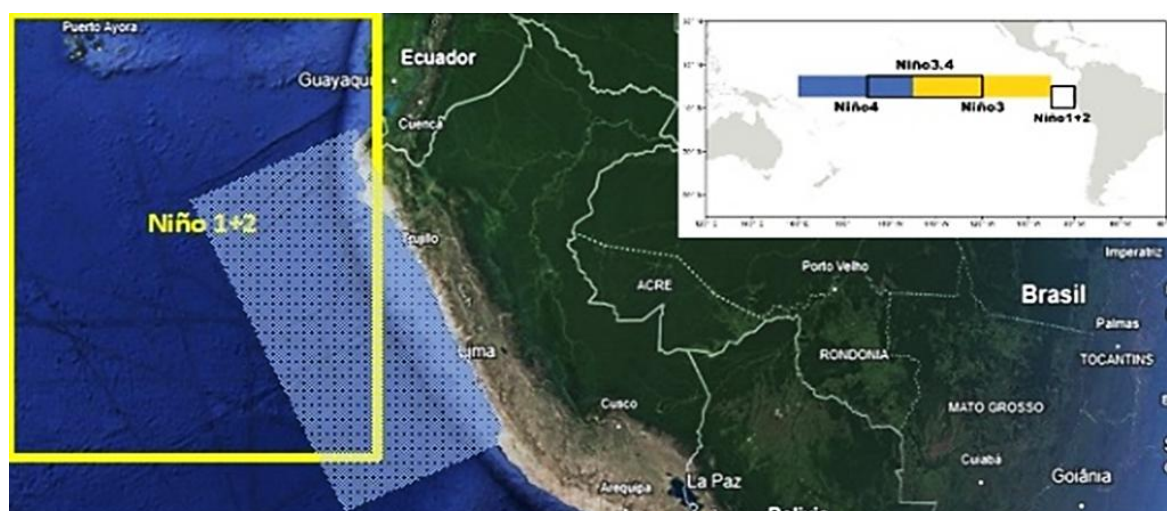


Figura 2. Traslape del área Niño 1+2 (NOAA) y zona de pesca norte y centro de Perú (IMARPE). Figura extraída de Google Earth Pro y NOAA.

La serie de tiempo (1980 - 2015) se obtuvo del sitio <https://psl.noaa.gov/data/timeseries/month/>. Los datos fueron procesados para obtener medias anuales y observar la variabilidad del clima marino en la zona de interés.

Los datos de desembarques mensuales de *E. ringens* (TM) fueron obtenidos del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) del período 1959 – 2015 (Bouchon Corrales et al., 2018), y procesados para expresar las capturas acumuladas por año de las zonas norte y centro de Perú, representadas climáticamente por el área Niño 1+2.

Por su parte, el precio internacional de la harina de pescado (USD/TM) se descargó de la página web con estadísticas del Banco Central de Reserva del Perú para el período 1980 – 2021 (BCRP, 2022). En definitiva, el período coincidente entre las tres series de tiempo correspondió al segmento 1980 – 2015.

En la Tabla 1 se presentan las variables de estudio. Para el análisis de las series de tiempo, se utilizó la metodología Box-Jenkins para la aplicación del modelo ARIMA, aplicado en su integralidad en las series no estacionarias, cumpliendo las etapas de la Tabla 2.

Tabla 1
Variables intervinientes en el estudio

Variable	Concepto	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
Temperatura Superficial del Mar (TSM)	Promedio de la temperatura de la superficie del mar del área Niño 1+2 correspondiente a la zona oceánica norte y centro de Perú	Condiciones ambientales oceánicas	Promedio mensual/anual de TSM	Cuantitativa continua (°C)
Producción pesquera de <i>E. ringens</i>	Cantidad total de anchoveta capturada en la zona de afloramiento durante 1980 a 2022	Productividad pesquera	Total de capturas por año en toneladas métricas (TM)	Cuantitativa continua (TM)
Precio corriente de la harina de pescado	Precio del mercado de la harina de pescado producida principalmente a partir de anchoveta.	Economía pesquera	Precio promedio por tonelada métrica (USD/TM)	Cuantitativa continua (USD/TM)

Tabla 2
Etapas del Modelo Box-Jenkins aplicado a las series de tiempo

Etapas	Acción
1	Identificación del modelo ARIMA: Definir los procedimientos a aplicar para transformar la serie de tiempo original en una estacionaria.
2	Determinación del modelo ARMA provisional para la serie estacionaria: establecer órdenes de p y q de sus componentes autorregresivos y de media móvil, siguiendo los criterios de parsimonia.
3	Estimación, por máxima verosimilitud, de los parámetros AR y MA del modelo y obtención de los errores estándar y residuos del modelo.
4	Diagnóstico: realizar pruebas para comprobar que los residuos se comportan como ruido blanco. Si los residuos muestran estructura de dependencia, se ajusta el modelo hasta obtener el apropiado.
5	Pronóstico de datos en base al modelo obtenido.

En primera instancia, se realizó la representación gráfica, para observar el comportamiento de las series en función del tiempo, detectando datos extremos o cambios estructurales que puedan sugerir no estacionariedad. Las tendencias lineales fueron corregidas aplicando primeras diferencias, cabe destacar que una tendencia no lineal suele conducir al uso de una segunda diferencia. En este contexto, se aplicó el Test de raíz unitaria de Dicky Fuller Aumentada y Test de Philips y Perrón con el objeto de determinar estadísticamente la existencia de raíz unitaria en las series.

Posteriormente, se generó correlogramas de las funciones de autocorrelación (AC) y de autocorrelación parcial (ACP) a fin de explorar el número de medias móviles y autoregresivos, respectivamente. Se aplicó el ARMA (Modelo Autoregresivo de media móvil) para modelar las series. Bajo el concepto de parsimonia, es conveniente emplear modelos mediante la representación del proceso lineal de un pequeño número de términos autorregresivos y de media móvil (Box et al., 1994). Adicionalmente, se realizaron proyecciones a diez años en base a la aplicación de los modelos de las distintas series, una vez que se identificó que las series de residuos constituía ruido blanco.

Por último, se efectuaron análisis correlacionales entre las series sin tendencia, para identificar la interdependencia entre la TSM, la producción pesquera y el precio de la harina de pescado, y explorar el potencial para realizar proyecciones futuras del precio de la harina a partir de la TSM. Para el análisis estadístico de la información, se utilizó el software EViews versión 13 para la estimación de modelos univariados ARMA y para

los análisis correlacionales se utilizó el programa SPSS versión 26.

3. Resultados y discusión

La serie de TSM (Figura 3) mostró una consistente tendencia lineal ascendente, comportamiento común en series de tiempo climáticas, esta tendencia estaría asociada al calentamiento global de largo plazo. Además, muestra una fase oscilatoria amplia en su primer segmento, asociada a los eventos climáticos cálidos El Niño de 1982-83, 1987 y 1997-98, y al evento frío La Niña de 1985, 1988-89, 1995-96, 1998-2000, considerados como los mayores eventos de la historia climática reciente en el área. Mientras que, en el segundo segmento las fluctuaciones son menores.

Mediante el correlograma (Tabla 3) se determinó que las funciones de AC y ACP de la serie de TSM mostraron valores con probabilidad de expresar raíz unitaria y se aplicó logaritmos a la serie original, obteniendo una serie residual sin raíz unitaria. Confirmada con las pruebas de Dickey Fuller Aumentada (DFA), que presentó un valor $p = 0,0001$, y la prueba de Phillips-Perron, con un $p < 0,001$ ambas con un nivel de confianza del 95%. En el análisis se aplicó la primera diferencia, $D(LTSM)$, determinando la estacionariedad.

Mediante el uso del algoritmo automático del programa EViews se realizaron 20 interacciones para obtener el modelo óptimo de pronóstico, generándose un modelo ARMA (0,3) como mejor opción, donde se descartó el componente estacional, al ser una serie de valores anuales. Lo indicado se realizó aplicando el criterio de Akaike, escogiendo el valor más bajo (AIC value: -3,791) conforme la Figura 4.

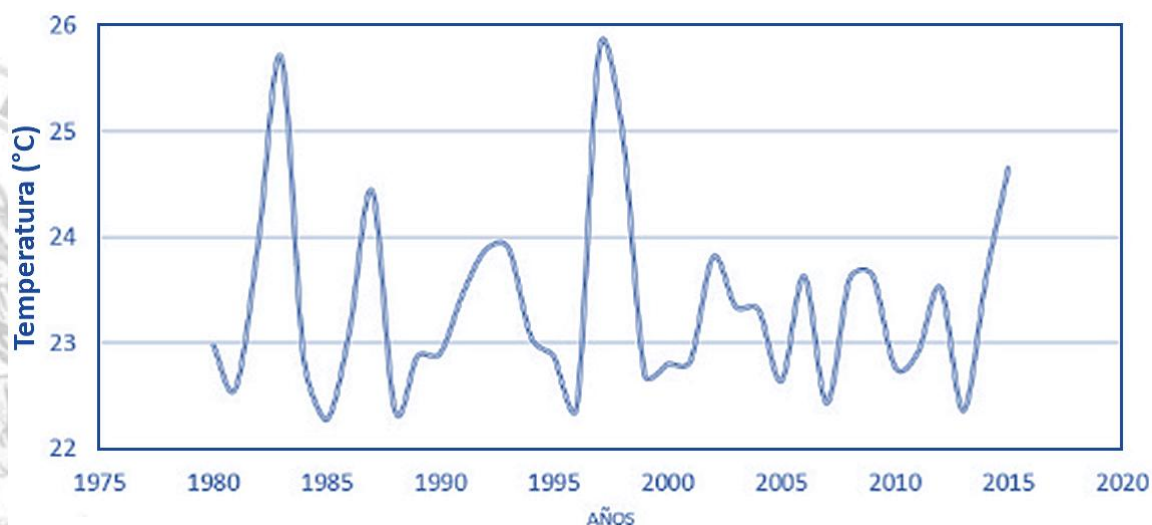


Figura 3. Serie de TSM (°C) del área Niño 1+2.

Tabla 3

Correlogramas de las funciones AC y ACP de la serie DTSM

Sample (adjusted): 1980 2015
Included observations: 36 after adjustments

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob.	
		1	0.045	0.045	0.0799	0.777
		2	-0.432	-0.435	7.5829	0.023
		3	-0.207	-0.196	9.3517	0.025
		4	0.157	-0.026	10.411	0.034
		5	0.120	-0.063	11.046	0.050
		6	0.093	0.144	11.443	0.076
		7	-0.146	-0.113	12.450	0.087
		8	-0.148	-0.057	13.526	0.095
		9	-0.082	-0.180	13.864	0.127
		10	0.068	-0.114	14.107	0.168
		11	0.186	0.086	16.001	0.141
		12	-0.155	-0.283	17.372	0.136
		13	-0.270	-0.179	21.707	0.060
		14	0.109	-0.006	22.445	0.070
		15	0.235	-0.055	26.045	0.038
		16	-0.125	-0.221	27.109	0.040

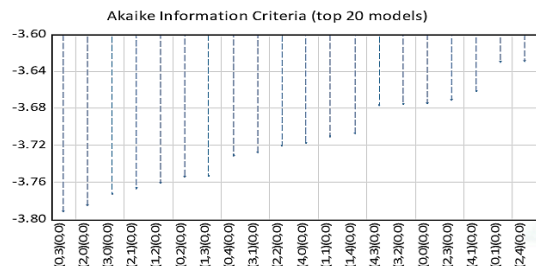


Figura 4. Criterio de Akaike para determinar el mejor modelo ARMA.

El coeficiente de Durbin Watson de 2,037 expresa la no existencia de autocorrelación entre los residuos, sugiriendo que el componente de error

está constituido por ruido blanco; mientras que, el R^2 resultó con significancia estadística, confirmando que es el mejor modelo de ARMA para la serie de temperatura. Posteriormente, se realizó un pronóstico de 10 períodos (Figura 5) a fin de explorar el alcance de los resultados en términos de tiempo. Se evidencia que a corto plazo (aproximadamente tres años) la serie (TSM_F) presenta resultados razonables, sin embargo, en un período mayor, los valores tienden a estabilizarse, destacándose que los datos predichos no reflejan la ocurrencia del período cálido posterior al 2023.

Producción: Desembarques de *E. ringens*

En la Figura 6 se presenta la variación en los desembarques de *E. ringens*, evidenciándose descensos en las capturas asociadas a los períodos El Niño 1982-83, 1997-98 y 1987, clasificados como extraordinarios y fuerte, respectivamente. Esta pesquería colapsó en la década de los 70 por un efecto combinado climasobreeplotación, volviendo a ser golpeada por El Niño 1982-83, lo que produjo una redefinición de la administración pesquera de *E. ringens*. Los datos permiten observar también repuntes de los desembarques durante períodos fríos La Niña.

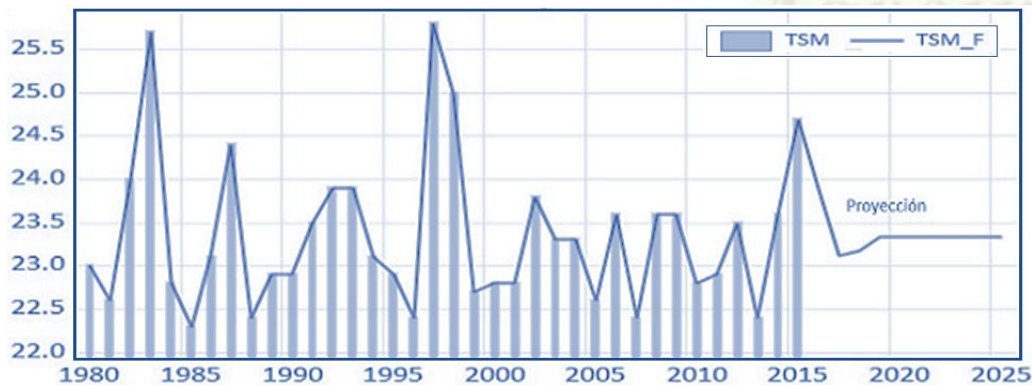


Figura 5. Pronóstico de TSM en base al modelo ARMA.

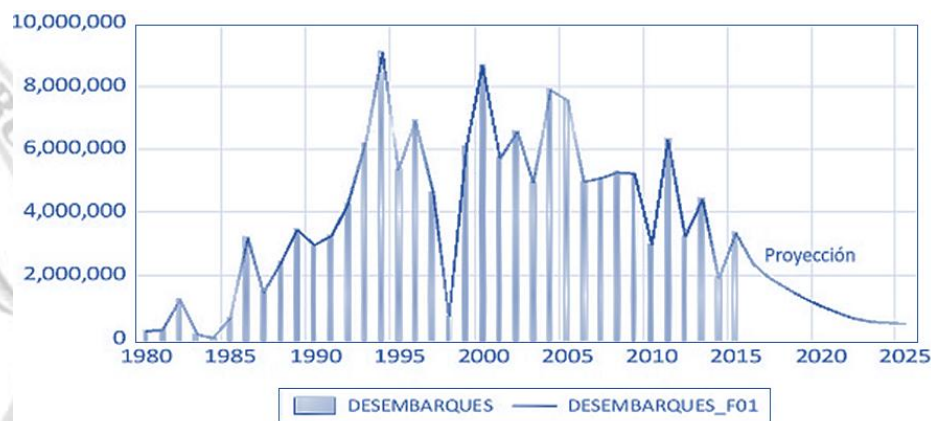


Figura 6. Variabilidad de desembarques de *E. ringens* en la costa norte y centro de Perú (TM), con proyección según el modelo ARIMA.

Respecto a la serie de desembarques, se registró tendencias lineales, que se pueden reflejar en los correlogramas de AC y ACP, que comprueba la no estacionariedad. Se aplicó la primera diferencia, obteniéndose una serie residual estacionaria (DDesembarques), lo cual se demostró mediante el test DFA con un $p < 0,001$, confirmado por el test Phillips-Perron ($p < 0,001$). Los resultados presentaron un $R^2 = 0,695952$, estadísticamente significativo. Luego, se realizaron 20 interacciones para obtener el mejor modelo para la serie de desembarques, generándose un modelo ARMA (2,3) con el AIC = 31,915 y coeficiente de Durbin Watson de 2,006 que expresó la no existencia de autocorrelación entre los residuos, y en consecuencia el error está constituido por ruido blanco. Por su parte, el $R^2 = 0,617$ fue significativo. Finalmente, se realizó un pronóstico de 10 períodos, generándose la serie Desembarques_F01, mostrando un descenso sostenido de la producción, sin embargo, no expresa el período de recuperación asociado a La Niña 2020-2022. Se estima que el modelo está expresando datos razonables durante los tres primeros años.

Precio internacional de la harina de pescado

Un incremento sostenido del precio internacional de la harina de pescado a partir del año 2000 se observa en la Figura 7, la misma que representa

una relación directamente proporcional entre la temperatura y el precio, así los descensos en la temperatura expresan descensos en los precios. Se evidencia que la fuerte tendencia ascendente entre los años 2000 y 2015, responde a aspectos de mercado, por lo que esta tendencia fue filtrada. La aplicación del modelo a un pronóstico de 10 períodos, generó la serie PrecioHarina_F que muestra un ascenso sostenido del precio de la harina, sin embargo, existe evidencia de que el precio se estabilizó durante los últimos años.

Los correlogramas de la serie (Tabla 4) muestran la no estacionariedad; se aplicó la primera diferencia a la serie de logaritmos y se obtuvo una serie estacionaria con el test DFA con un $p < 0,001$, confirmado por el test Phillips-Perron con $p < 0,001$. Los resultados también presentaron un $R^2 = 0,640$, estadísticamente significativo.

Se realizaron 20 interacciones generándose el mejor modelo de pronóstico ARMA (0,0) con el AIC = -0,202 y el coeficiente de Durbin Watson de 2,040; determinándose la no existencia de autocorrelación entre los residuos, y en consecuencia el error está constituido por ruido blanco. El indicador de ajuste $R^2 = 0,565$ fue estadísticamente significativo y se confirma que es el mejor modelo de ARMA para la serie de precio de la harina de pescado.

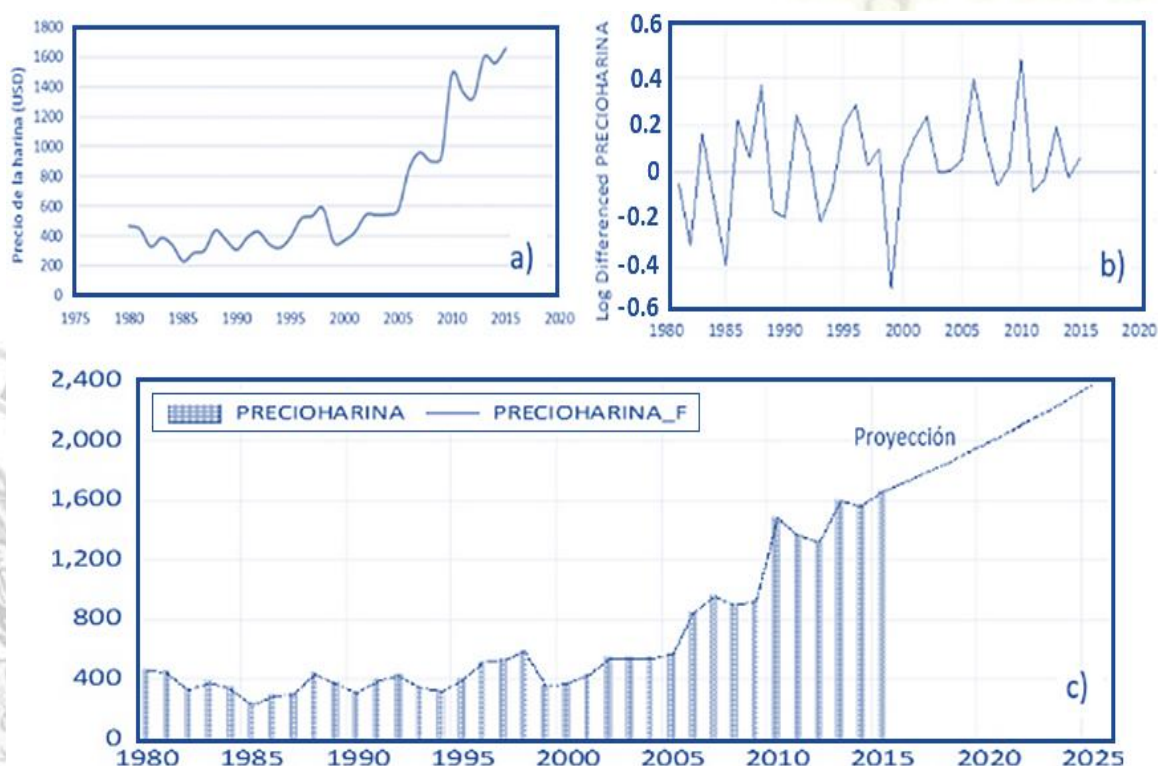


Figura 7. Precio de la harina de pescado (USD/TM): a) Evolución histórica de 1980 a 2015; b) Serie residual del precio internacional; c) Pronóstico del precio promedio.

Tabla 4

Correlogramas de la AC y ACP de la serie de precio de la harina de pescado

Sample (adjusted): 1980 2015

Included observations: 36 after adjustments

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 0.865	0.865	29.217	0.000
		2 0.753	0.020	52.004	0.000
		3 0.648	-0.028	69.403	0.000
		4 0.559	0.005	82.778	0.000
		5 0.439	-0.174	91.270	0.000
		6 0.285	-0.235	94.961	0.000
		7 0.218	0.225	97.200	0.000
		8 0.156	-0.009	98.395	0.000
		9 0.079	-0.127	98.712	0.000
		10 0.004	0.003	98.712	0.000
		11 -0.038	0.028	98.790	0.000
		12 -0.056	-0.058	98.969	0.000
		13 -0.081	0.044	99.358	0.000
		14 -0.105	0.007	100.04	0.000
		15 -0.118	-0.075	100.94	0.000
		16 -0.134	-0.079	102.17	0.000

Los resultados confirman que los modelos ARIMA aplicados, funcionan mejor en el corto plazo, como ha sido expresado por varios autores. No obstante, la periodicidad anual de las series utilizadas indica que, si las proyecciones son válidas en un ciclo de 1 a 3 años, su aplicabilidad tendría un alcance muy importante. En este contexto, se relacionó la TSM con la serie del precio de la harina de pescado sin tendencia. Luego, las series fueron tratadas con medias móviles de tres periodos con el objeto de filtrar influencias de alta frecuencia. Finalmente, se realizó un proceso de regresión lineal (Figura 8).

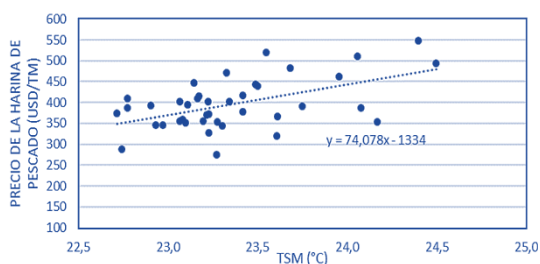


Figura 8. Regresión de la TSM y el precio de la harina de pescado.

La regresión entre la TSM y el precio de la harina de pescado registró un coeficiente $r = 0,533$, con significancia estadística al 95% de confianza ($p = 0,0004$). Finalmente, la ecuación se ajustó al promedio de la franja de nueva estabilización de precios que se observó desde aproximadamente el año 2010, obteniéndose la ecuación 2:

$$\text{Precio harina de pescado} = 74,0780 \text{ TSM} - 247 \quad (2)$$

Ashok & Yamagata (2009) indican que los patrones de calentamiento y enfriamiento de la superficie del mar en el Pacífico tropical parecen estar cambiando, asociados al calentamiento global, lo que implicaría cambios en el comportamiento de El Niño. En el trabajo de

L'Heureux et al. (2013) se reportó tendencias lineales de largo plazo de la TSM mensual en el Océano Pacífico tropical durante el periodo 1950-2010. En la serie TSM Niño 1+2 analizada se encontró una marcada tendencia positiva, la cual fue filtrada, generando una serie centrada en la variabilidad climática de corto periodo interanual. La serie de TSM obtenida permitió diferenciar los eventos climáticos en sus distintas intensidades. La serie de capturas evidencia el efecto El Niño sobre la pesquería y determina el potencial efecto de la administración pesquera posterior al colapso de los stocks de *E. ringens*. Las medidas administrativas produjeron recuperación lenta del stock, afectado por recurrentes El Niño. En estos eventos, disminuye la intensidad de los afloramientos de aguas frías ricas en nutrientes, provocando reducción en la disponibilidad de alimento para los pelágicos pequeños, los cuales migran hacia aguas más frías y profundas en busca de condiciones favorables siendo menos vulnerables a la pesca cerco (Gutiérrez et al., 2007; Espino, 2013).

Chavez et al. (2003) y Ñiquen & Bouchon, (2004) indican que la disminución de *E. ringens* puede generar un efecto multiplicador en la cadena alimenticia de las especies marinas depredadoras, y en comunidades costeras que dependen de esta actividad para el sustento. Por ello, para mitigar los impactos de los eventos climáticos en la pesquería, se debe contar con sistemas de monitoreo, control, y pronóstico que permitan responder a las variaciones de las condiciones oceanográficas, promoviendo la sostenibilidad de los recursos pesqueros y la conservación de los recursos marinos (Chavez & Messié, 2009), lo que confirma una correlación significativa entre la TSM y la pesquería.

Timmermann et al. (1999) sostiene que durante época de eventos El Niño, la escasez de *E. ringens* puede generar el aumento de los costos de producción de la harina de pescado, y por consiguiente un costo elevado en el precio el precio en el mercado. Por otro lado, en eventos de La Niña, evento frío, los crecientes desembarques de anchoveta permiten la existencia de mayor disponibilidad de materia prima, pero un descenso en el precio de la harina. Para esto, se generan estrategias de mercado, como el almacenamiento de harina y aceite de pescado para satisfacer la demanda en periodos de escasez, evitando la venta en periodos de sobreoferta.

Otros factores como la demanda global de productos pesqueros y la competencia en el mercado internacional también influyen en la

variabilidad del precio de la harina de pescado (Burga Farfán et al., 2024), lo que resulta parcialmente evidente en la serie de precios. Al filtrar la tendencia del incremento sostenido de los precios en el período 2002–2010, se registró la correlación con significancia estadística, que confirmó el planteamiento de utilizar la TSM como una herramienta para realizar estimaciones del precio de la harina de pescado.

4. Conclusiones

La proyección mediante ARIMA, en aplicación del modelo Box-Jenkins, resultó ser una herramienta eficaz para el AST, y el pronóstico para períodos cercanos (hasta 3 años). En un siguiente paso, en el contexto de la investigación pesquera, sería eficiente trabajar con períodos de meses, en lugar de años, siendo necesario incorporar componentes estacionales en el proceso de determinación de los parámetros del ARMA. La relación entre la TSM y las capturas de *E. ringens* de las zonas Norte+Centro presentó significancia estadística al 95% de confianza, aunque con un coeficiente correlación medio. Las series de tiempo reflejan los eventos climáticos más importantes, sin embargo, responden también a otros fenómenos como el cambio climático, aspectos biológicos, y de administración pesquera.

Se estableció tres fases en la variación del precio de la harina de pescado, con un crecimiento lento entre 1980 y 1999, un crecimiento acelerado entre el año 2000 al 2010, distorsión atribuible a variaciones de mercado por una fase de disminución en la oferta de harina, que marcó una nueva estabilización de los precios a partir de esa fecha.

De mantenerse la estabilización de los precios, la proyección ARIMA de la TSM se podría convertir en una herramienta práctica para proyectar el precio de la harina de pescado, la planificación industrial y la estabilidad del mercado internacional de harina de pescado, contribuyendo a la sostenibilidad de la pesquería y de las industrias agropecuaria y acuícola.

Referencias bibliográficas

Arntz, W. E., Gallardo, V. A., Gutiérrez, D., Isla, E., Levin, L. A., Mendo, J., & Wolff, M. (2006). El Niño and similar perturbation effects on the benthos of the Humboldt, California, and Benguela Current upwelling ecosystems. *Advances in Geosciences*, 6, 243-265. <https://doi.org/10.5194/adgeo-6-243-2006>

Ashok, K., & Yamagata, T. (2009). The El Niño with a difference. *Nature*, 461(7263), 481-484. <https://doi.org/10.1038/461481a>

Banco Central de la Reserva de Perú - BCRP, G. C. de E. E. (2022). *Pesqueros—Harina de Pescado—Precio (US\$ por toneladas)*.

Bouchon Corrales, M., Niquen Carranza, M., & Tito, H. (2018). Estadísticas de la pesquería pelágica en la costa peruana

(1959- 2015). *Instituto del Mar del Perú - IMARPE*. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3302>

Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (1994). *Time series analysis: Forecasting and control* (3rd edition). John Wiley & Sons. ISBN-13 978-0130607744. <https://doi.org/10.1002/9781118619193>

Bracamonte Bazán, G. H. (2025). *Tres propuestas de mejora para el proceso productivo de una empresa de harina de pescado*. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/29932>

Burga Farfán, J. E., Aguirre Panta, Y. E., Lecamaqué Arévalo, C. A., & Aldana Yarlequé, C. N. (2024). Predicción de precios de exportación del aceite y la harina de pescado, utilizando series de tiempo para el periodo 2023. *Revista de Investigación Científica de la UNF – Aypate*, 2(1), 43–53. <https://doi.org/10.57063/ricay.v2i1.28>

Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M., Van Rensch, P., Collins, M., Vecchi, G., & Cowan, T. (2014). Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 4(2), 111-116. <https://doi.org/10.1038/nclimate2100>

Cancino, S. E., Escalante, G. O. C., & Ricketts, D. F. C. (2023). Un modelo Box Jenkins ARIMA para modelar y pronosticar la producción de mora de castilla en Colombia. *Económicas CUC*, 44(1), Article 1. <https://doi.org/10.17981/econuc.44.1.2023.Econ.4>

Carlson, A. K., Taylor, W. W., Liu, J., & Orlic, I. (2018). Peruvian anchoveta as a telecoupled fisheries system. *Ecology and Society*, 23(1). <https://doi.org/10.5751/ES-09923-230135>

Chavez, F. P., & Messié, M. (2009). A comparison of eastern boundary upwelling ecosystems. *Progress in Oceanography*, 83(1-4), 80-96. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.07.032>

Chavez, F. P., Messié, M., & Pennington, J. T. (2017). Marine primary production in relation to climate variability and change. *Annual Review of Marine Science*, 9, 227-260. <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163917>

Chavez, F. P., Ryan, J., Lluch-Cota, S. E., & Niquen, M. (2003). From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science*, 299(5604), 217-221. <https://doi.org/10.1126/science.1075880>

Cheung, W. W., Lam, V. W., Sarmiento, J. L., Kearney, K., Watson, R., & Pauly, D. (2009). Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish and Fisheries*, 10(3), 235-251. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2008.00315.x>

Christy, F. T. (2011). The Development and Management of Marine Fisheries in Latin America and the Caribbean. <https://doi.org/10.18235/0008823>

Climate Prediction Center - CPC (2023). Four El Niño Regions – NOAA. https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc.shtml

De La Fuente, F. S. (2013). Series Temporales, Modelo ARIMA - Metodología de Box—Jenkins (p. 57). Universidad Autónoma de Madrid. Facultad Ciencias Económicas y Empresariales Departamento de Economía Aplicada.

Espino, M. (2013). El jurel *Trachurus murphyi* y las variables ambientales de macroescala. *Revista Peruana de Biología*, 20(1), 09-20.

Fisher, J. L., Peterson, W. T., & Rykaczewski, R. R. (2015). The impact of El Niño events on the pelagic food chain in the northern California Current. *Global Change Biology*, 21(12), 4401-4414. <https://doi.org/10.1111/gcb.13054>

Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. (2009). *Guide for the production of fish meal in developing countries*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.

Food and Agriculture Organization of the United Nations- FAO. (2014). *The state of world fisheries and aquaculture 2014: Opportunities and challenges*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.

Fréon, P., Cury, P., Shannon, L., Roy, C., & Shin, Y. J. (2005). Sustainable exploitation of small pelagic fish stocks challenged by environmental and ecosystem changes: a review. *Bulletin of Marine Science*, 76(2), 385-462.

García, H. E., Locarnini, R. A., Boyer, T. P., Antonov, J. I., Mishonov, A. V., Baranova, O. K., Zweng, M. M., Reagan, J. R., Johnson,

- D.R. (2013). World Ocean Atlas 2013. Vol. 3: Dissolved Oxygen, Apparent Oxygen Utilization, and Oxygen Saturation. S. Levitus, Ed.; A. Mishonov, Technical Ed. NOAA Atlas NESDIS 75, 27 pp.
- García-Reyes, M., Largier, J., Sydeman, W. (2014). Synoptic-scale upwelling indices and predictions of phyto-and zooplankton populations. *Progress in Oceanography*, 120, 177-188. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2013.08.004>
- Gutiérrez, M., Swartzman, G., Bertrand, A., Bertrand, S. (2007). Anchovy (*Engraulis ringens*) and sardine (*Sardinops sagax*) spatial dynamics and aggregation patterns in the Humboldt Current ecosystem, Peru, from 1983–2003. *Fisheries Oceanography*, 16(2), 155-168. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.2006.00422.x>
- Instituto del Mar del Perú - IMARPE, (2020). Informe sobre las condiciones oceanográficas y la pesquería de anchoveta en la costa peruana. Lima: IMARPE.
- Hsieh, C. H., Reiss, C. S., Hunter, J. R., Beddington, J. R., May, R. M., & Sugihara, G. (2019). Fishing elevates variability in the abundance of exploited species. *Nature*, 443(7113), 859-862. <https://doi.org/10.1038/nature05232>
- L'Heureux, M. L., Collins, D. C., & Hu, Z.-Z. (2013). Linear trends in sea surface temperature of the tropical Pacific Ocean and implications for the El Niño-Southern Oscillation. *Climate Dynamics*, 40(5), 1223-1236. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1331-2>
- Lehodey, P., Bertignac, M., Hampton, J., Lewis, A., & Picaut, J. (2006). El Niño Southern Oscillation and tuna in the western Pacific. *Nature*, 389, 715–718 (1997). <https://doi.org/10.1038/39575>
- Montecinos, A., & Aceituno, P. (2003). Seasonality of the ENSO-related rainfall variability in central Chile and associated circulation anomalies. *Journal of Climate*, 16(2), 281-296. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<0281:SOTERR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<0281:SOTERR>2.0.CO;2)
- Ñiquen, M., & Bouchon, M. (2004) Impact of El Niño events on pelagic fisheries in Peruvian waters, Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, Volume 5 (6-9) 563-574. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.03.001>.
- Pauly, D., & Zeller, D. (2017). Comments on FAOs State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA 2016). *Marine Policy*, 77, 176-181. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.01.006>
- Richardson, A. J., & Schoeman, D. S. (2004). Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science*, 305(5690), 1609-1612. <https://doi.org/10.1126/science.1100958>
- Rodríguez, J. (2023). Calendario anual de trabajo de la industria de harina pescado en Perú. Veterinaria Digital - Avicultura, Porcicultura, Rumiantes y Acuicultura.
- Scheidereite, G. D., & Faure, O. R. (2015). Aplicación de los Modelos Autorregresivos Integrados de Media Móvil (ARIMA) a las Series de Precipitaciones de Lluvia. *Revista RInCE*, 6(12), 16. <https://doi.org/10.54789/rince.12.1>
- Tafur, R., Paredes, C., Moreno, J., & Ortiz, M. (2009). Overview of the Peruvian anchoveta fisheries. In Anchovy & Its Environment in the Northern Humboldt Current System (pp. 1-13). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Timmermann, A., Oberhuber, J., Bacher, A., Esch, M., Latif, M., & Roeckner, E. (1999). Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. *Nature*, 398(6729), 694-697. <https://doi.org/10.1038/19505>

